Agriculture, Pêcheries et Alimentation
Québec

Document de travail

Direction générale des pêches et de l'aquaculture commerciales

# *Rapport sur les missions d'évaluation de la technologie danoise pour l'élevage en eau douce des salmonidés*

(mise à jour : mai 2004)


**Sylvain Lareau Ph.D., chimiste**
Directeur de l'Association des Aquaculteurs du Québec
555 Roland Therrien
Longueuil, Qc J4H 3Y9

Agriculture, Pêcheries et Alimentation
Québec

**Robert Champagne, ingénieur**
**Guy Ouellet, biologiste**
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
200, chemin Sainte-Foy
Québec, Qc G1R 4X6

**Éric Gilbert**
Conseiller - Secteur de l'aquaculture d'eau douce
Bureau du Commissaire au Développement de l'Aquaculture
3230 rue de Blois
Trois-Rivières, Qc G8Z 1R5

UNIVERSITÉ LAVAL

**Grant Vandenberg Ph.D., nutritionniste**
Département des sciences animales
Université Laval
Québec, Qc G1K 7P4

**Les membres de :**
l'Initiative Inter-provinciale de R&D pour le développement durable de l'aquaculture en eau douce

106-0 5992 /

## TABLES DES MATIÈRES

1.0 Remerciements ..... 1
2.0 Introduction ..... 1
3.0 La situation au Danemark ..... 2
4.0 Objectifs des missions au Danemark et participants ..... 3
5.0 Déroulement des missions et résultats obtenus ..... 4
5.1 Mission 1, du 5 au 11 octobre 2003 ..... 4
5.2 Mission 2, du 24 au 31 janvier 2004 ..... 5
6.0 La réglementation au Danemark ..... 5
6.1 Composition de la moulée ..... 6
6.2 La qualité de l'eau et la gestion à la ferme ..... 7
6.3 Résultat de la réglementation ..... 8
6.4 Conséquences des réglementations adoptées ..... 8
7.0 Visites de fabricants de moulée et d'une usine de transformation ..... 10
7.1 Visite du fabricant de moulée Biomar, le 9 octobre 2003 ..... 10
7.2 Visite du fabricant de moulée Dana Feed, le 7 octobre 2003 ..... 11
7.3 Visite du fabricant de moulée Aller Aqua, le 6 octobre 2003 et le 28 janvier 2004 ..... 12
7.4 Visite du fabricant de concentré de protéines végétales Hamlet Protein, le 7 octobre 2003 ..... 14
7.5 Visite de l'entreprise de fumage de truite Hevico, le 27 janvier 2004 ..... 15
8.0 Visite des stations piscicoles ..... 17
8.1 Les fermes traditionnelles au Danemark – généralités ..... 17
8.2 La ferme Binderup Mølle Dambrug, visitée le 8 octobre 2003 ..... 18
8.3 La ferme Trend Å Dambrug, visitée le 7 octobre 2003 et le 28 janvier 2004 ..... 25
8.4 La ferme Døstrup Dambrug, visitée le 7 octobre 2003 ..... 31
8.5 La ferme Tykskov Dambrug, visitée le 27 janvier 2004 ..... 35
8.6 La ferme Fundelholme Dambrug, visitée le 27 janvier 2004 ..... 38
8.7 La ferme Oxfeld Dambrug, visitée le 28 janvier 2004 ..... 40
8.8 La ferme GL. Råsted Dambrug, visitée 28 janvier 2004 ..... 42
9.0 Conclusions ..... 44
9.1 L'alimentation et les compagnies de moulée ..... 44
9.2 Les visites d'entreprises piscicoles ..... 45
9.3 Projets découlant des missions ..... 46
Annexes ..... 47

## 1.0 Remerciements

*Fig. 1. Kaare Michelsen*

Nous tenons à remercier nos hôtes danois pour leur accueil, les informations fournies et le temps consacré aux visites d'entreprises et plus particulièrement M. Kaare Michelsen (figure 1), consultant, qui a partagé son expertise et nous a fait visiter les entreprises au Danemark.

Nous voulons aussi remercier tous les participants des deux missions qui ont collaboré à la récolte d'informations, à la prise de photos et aux discussions portant sur le bilan des informations récoltées. Les informations récoltées seront d'une grande utilité pour le développement de l'aquaculture en eau douce au Canada et plus particulièrement au Québec.

Nous remercions sincèrement les organismes suivants dans le financement des missions :

*Mission 1 :*

- Bureau du Commissaire au développement de l'aquaculture

*Mission 2 :*

- Le Conseil National de Recherche – programme PARI
- Le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Et aussi la SORDAC pour une partie de la participation de Guy Ouellet et «l'Initiative Inter-provinciale de R&D pour le développement durable de l'aquaculture en eau douce» pour une partie de la participation de Sylvain Lareau à la seconde mission.

## 2.0 Introduction

«L'Initiative Inter-provinciale de R&D pour le développement durable de l'aquaculture en eau douce» regroupe des représentants d'associations provinciales, du secteur de la recherche et des différents niveaux de gouvernement. Elle s'est donnée comme objectif de trouver des solutions à court terme au développement de l'aquaculture en eau douce. C'est dans le cadre de cet objectif que deux missions au Danemark ont été élaborées.

Au Canada, alors que la demande mondiale pour les produits de la mer et des eaux douces est en pleine croissance, la pêche est en déclin et le développement de l'aquaculture est freiné par une remise en question des pratiques courantes en regard des contraintes environnementales. À ce jour, l'aquaculture en eau douce n'utilise qu'un faible pourcentage de son potentiel. En Ontario, la production annuelle stagne depuis 1997 au alentour de 4000 t. Au Québec, la situation est encore plus critique puisque la production a enregistré une baisse de 26 % au cours des dernières années (figure 2).

L'Association des Aquaculteurs du Québec en partenariat avec le MAPAQ et le MENV signera sous peu la Stratégie de développement durable de l'aquaculture en eau douce (STRADDAQ). La STRADDAQ vise à réduire de 40 % les rejets de phosphore des entreprises piscicoles au cours des dix prochaines années. Dans le cas de plusieurs entreprises, le mécanisme qui permettra d'atteindre les objectifs visés n'a pas encore été identifié. Les autres provinces canadiennes ont aussi la même problématique. L'Initiative Inter-provinciale a donc élaboré un plan d'action qui identifie les champs d'intervention où la recherche devrait être prioritaire.

Dans l'ensemble, le plan d'action propose des actions visant à diminuer les rejets de phosphore par la nutrition, la gestion à la ferme et le traitement des rejets piscicoles. L'Initiative a rapidement identifié que le Danemark possédait des connaissances pouvant nous être utiles.

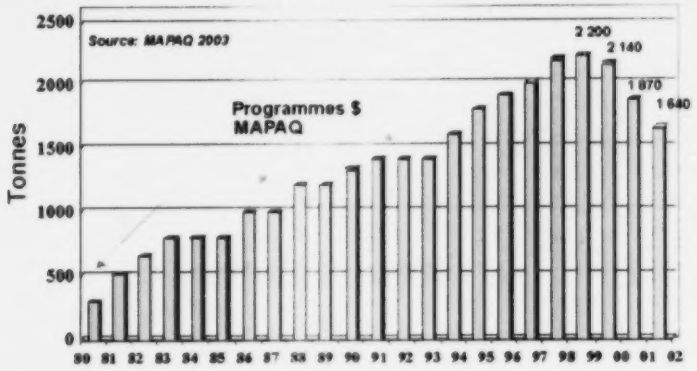


*Figure 2. Production piscicole au Québec*

## 3.0 La situation au Danemark

Le Danemark est le troisième producteur mondial en importance de truites arc-en-ciel en eau douce. Sa production annuelle se situe à environ 32 000 t, et représente17 % de la production de l'Union européenne. Ce pays produit principalement de la truite de consommation non-pigmentée de 400 à 600 g. La taille des fermes au Danemark varie de 3 à 3000 tonnes de production annuelle. Les entreprises typiques produisent en moyenne 85 tonnes. Le Danemark exporte environ 85 % de sa production en Allemagne. Le tableau 2 montre la répartition des ventes.

*Tableau 1. Description de la production piscicole en eau douce au Danemark*

| | |
|---|---|
| Nombre de fermes | 370 |
| Production | 32 000 t |
| Marché | 400 à 600 g |
| Ferme typique | 85 t |
| Emploi | 1000 |
| Exportation | Allemagne 85 % |
| Valeur | 90 M$ US |

*Tableau 2. Description du marché de la truite au Danemark*

| | |
|---|---|
| Truite fumée - filet | 9000 t |
| Sur glace (Ice pack) | 8000 t |
| Vivante | 6000 t |
| Ensemencement | 3000 t |
| Autres | 6000 t |

Il y a 15 ans, le Danemark a connu des contraintes similaires à celles du Canada face au développement de l'aquaculture. Les producteurs danois se sont faits imposer des normes législatives visant une réduction des rejets émis par les entreprises piscicoles. Au cours des derniers 15 ans, le Danemark a dû trouver des solutions technologiques afin de rencontrer les normes et permettre à cette industrie de survivre. Le développement d'une nutrition performante est une des solutions développées dans ce pays. Le traitement des rejets piscicoles dans les entreprises est le deuxième volet qui a permis aux entreprises danoises de se conformer à la législation. Au cours des deux dernières années, et voyant son niveau de production stagner depuis plus de 12 ans, les différents intervenants du milieu aquacole ont travaillé ensemble afin de mettre au point les conditions permettant d'ouvrir à nouveau les portes au développement de l'aquaculture. De là est né le projet de «fermes modèles». Ces fermes, une fois caractérisées du point de vue environnemental, serviront de tremplin à l'expansion de la production. Elles permettront de dépasser, à faibles coûts, les normes imposées en terme de rejets en intégrant un système de traitement de l'eau, et en réduisant la consommation en eau et en énergie.

## 4.0 Objectifs des missions au Danemark et participants

La première mission a eu lieu du 4 au 11 octobre 2003. L'objectif était de confirmer la présence de technologies intéressantes et de prendre contact avec l'Association des producteurs de truites du Danemark, les principaux fabricants de moulées, ainsi que plusieurs intervenants gouvernementaux. Le tableau 3 montre la composition du groupe de la première mission.

*Tableau 3. Liste des participants de la première mission au Danemark (4 au 11 octobre 2003)*

| | | |
|---|---|---|
| Éric Gilbert | Conseiller | Bureau du Commissaire au développement de l'Aquaculture |
| Dr Grant Vandenberg | Nutritionniste | Université Laval |
| Dr Young Cho | Nutritionniste (retraité) | Université de Guelph |
| Dr Sylvain Lareau | Chimiste | Directeur de l'Association des Aquaculteurs du Québec |
| Jim Taylor | Pisciculteur | Cedar Crest Trout Farm.<br>Président de l'Association des Aquaculteurs de l'Ontario |
| Guy Ouellet | Biologiste | Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation |

Lors de la seconde mission qui s'est déroulé du 24 au 31 janvier 2004, le groupe était composé de pisciculteurs expérimentés, d'ingénieurs et de consultants spécialisés dans le domaine piscicole. Il a visité différentes entreprises piscicoles danoises, dont une ferme modèle, dans le but d'évaluer les technologies pouvant être utilisées au Canada et pouvant réduire les rejets des entreprises piscicoles. Le groupe a également visité une des compagnies de fabrication de moulée afin de discuter de moulée à haute performance et de la gestion associée à l'utilisation de ces aliments.

Plus spécifiquement, les objectifs de la seconde mission étaient :

1) discuter des performances environnementales des fermes au Danemark en fonction de leurs installations (méthodes d'élevage et systèmes de traitement, rejets selon les types d'installation et d'élevage, etc.),
2) visiter plusieurs «fermes modèles» développées au Danemark afin d'étudier la possibilité d'adapter ce type de système aux conditions canadiennes,
3) rencontrer des éleveurs et des compagnies de moulées afin de discuter des performances techniques et environnementales des moulées utilisées,
4) discuter avec les compagnies de moulées la possibilité d'importation de moulées à haute performance non disponibles au Canada dans le cadre d'un projet d'essais pan canadien,
5) discuter avec les compagnies de moulées et les éleveurs la gestion associée à l'utilisation de ces moulées à haute performance.

*Tableau 4. Liste des participants de la seconde mission au Danemark (24 au 31 janvier 2004)*

| | | |
|---|---|---|
| Normand Roy | Pisciculteur | Ferme piscicole des Bobines Inc.<br>Président de l'Association des Aquaculteurs du Québec (AAQ) |
| Jean Maheu | Pisciculteur | Pisciculture Val-des-Bois (Québec) Inc. |
| Yves Boulanger | Pisciculteur | Pisciculture des Alléghanys Inc. |
| Jim Taylor | Pisciculteur | Cedar Crest Trout Farm<br>Président de l'Association des Aquaculteurs de l'Ontario |
| Daniel Stechey | Consultant | Canadian Aquaculture Systems |
| Gilles Filion | Ingénieur<br>Consultant | Les consultants Filion et Hansen inc. |
| Sylvain Lareau | Chimiste | Directeur de l'Association des Aquaculteurs du Québec |
| Robert Champagne | Ingénieur | Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec |

## 5.0 Déroulement des missions et résultats obtenus

### *5.1 Mission 1, du 5 au 11 octobre 2003*

Lundi le 6 octobre : En matinée, nous avons visité la compagnie de moulée Aller Aqua à Christianfeld. En après-midi, nous avons rencontré Ole Sortkjær du «National Environmental Research Institute» à Silkeborg.

Mardi le 7 octobre : Nous avons visité la compagnie de moulée Dana feed, et aussi la compagnie de farines végétales Hamlet Protein à Horsens. En après-midi, nous avons rencontré à Silkeborg M. Mogens Brock, président de l'Association des producteurs de

truite du Danemark. M. Brian Thomsen, directeur de l'Association et M. Kaare Michelsen, consultant pour l'Association. Nous avons eu des présentations sur l'Association et sur la situation de la production piscicole au Danemark ainsi que sur l'historique de l'entente sur les fermes modèles.

Mercredi le 8 octobre : M. Kaare Michelsen nous a fait visiter les fermes modèles : Binderup Mølle Dambrug, Trend Å Dambrug et Døstrup Dambrug. À cette dernière ferme, nous avons fait la visite en compagnie de M. Jorgen Riis-Vestergaard de l'Université de Aalborg.

Jeudi le 9 octobre : Nous avons rencontré les gens du groupe Biomar à Brande. Cette compagnie est le plus gros fabricant de moulée du Danemark. En après-midi, M. Lars Svendsen, du « National Environmental Research Institute» nous a présenté à Silkeborg l'étude sur la ferme modèle Døstrup Dambrug.

Vendredi le 10 octobre : Nous avons été reçus par le Ministère de l'Environnement et de l'Énergie à Copenhague. Nous avons discuté avec M. Jesper Koldborg Jensen et ses collègues de la situation et de l'avenir de la pisciculture au Danemark.

### *5.2 Mission 2, du 24 au 31 janvier 2004*

Lundi le 26 janvier : Rencontre à l'Institut de l'Eau Douce de M. Kaare Michelsen qui nous a fait une présentation technique de modèles de fermes piscicoles et de M. Brian Thomsen directeur de l'Association des producteurs de truite du Danemark qui nous a présenté la situation des entreprises piscicoles dans son pays.

Mardi le 27 janvier : M. Michelsen nous a accompagnés chez Hevico, une importante entreprise de fumage de la truite, puis dans deux stations piscicoles fonctionnant en recirculation soit Tykskov Dambrug près de Brande et Fundeholme Dambrug en recirculation poussée située près de Silkeborg.

Mercredi le 28 janvier : M. Michelsen nous a fait visiter deux entreprises piscicoles soit d'abord Oxfeld Dambrug près du village de No (proche de Ringkøbing). L'entreprise fonctionne en recirculation pour la production de juvéniles. La seconde entreprise est GL. Råsted Dambrug situé près de Holstebro, qui est une ferme traditionnelle en étang, mais en voie de modification pour une plus grande réutilisation de l'eau.

Jeudi le 29 janvier : Nous avons visité une station piscicole nouveau modèle, soit la ferme Trend Å Dambrug et une entreprise de fabrication d'aliments à poisson, soit la compagnie Aller Aqua.

Vendredi le 30 janvier : Nous avons fait la compilation des informations et notes récoltées lors des visites et nous avons été invités à rencontrer M$^{me}$ Bernadette Luscombe-Thomsen, agente à l'expansion des affaires à l'Ambassade du Canada.

## 6.0 La réglementation au Danemark

Le Danemark a adopté en 1989 le *Règlement sur les pisciculture d'eau douce*. Celui-ci fut revu et modifié en 1994 et 1995. Ce règlement décrit les exigences minimales à rencontrer pour :

- le traitement mécanique des rejets piscicoles.

- le volume annuel maximal d'aliment octroyé par entreprise,
- le taux de conversion alimentaire,
- la composition des aliments destinés aux poissons,
- les standards d'émission d'une pisciculture,
- les registres et le rapport annuel d'activités,
- le suivi biologique.

### *6.1 Composition de la moulée*

Depuis 1989, la moulée danoise servant à la production piscicole doit répondre à des normes strictes. L'objectif de ces normes est des réduire les rejets de phosphore, d'azote et la demande biologique en oxygène ($DBO_5$) en limitant la teneur de certains ingrédients et en imposant une qualité minimale. Le taux de conversion ne doit jamais dépasser 1:1 et seule la nourriture sèche (extrudée) est permise. Ces contraintes ne s'appliquent pas pour la moulée des alevins ou de géniteurs. Le tableau 5 indique les critères en vigueur aujourd'hui au Danemark et les compare à des valeurs typiques retrouvées au Québec.

Afin de répondre à cette réglementation, les compagnies danoises de moulée ont dû adopter des stratégies afin de s'assurer que leurs produits répondent aux critères de qualité exigés. Selon eux, la solution réside dans les faits suivants :

- sélectionner des ingrédients de base de haute qualité et à bas niveau de phosphore,
- broyer et mélanger soigneusement les ingrédients afin de faciliter leur absorption,
- augmenter la quantité de gras dans la moulée (24 à 33 %),
- diminuer la quantité de produits de remplissage,
- utiliser plus de sources de protéine végétale (soya, maïs, blé),
- utiliser de la farine de poisson de haute qualité (72 % de protéines, 2,0 – 2,5 %P).

Aussi, la teneur en protéine dans la moulée ne devrait pas dépasser 56 % afin de répondre à la norme azote de la réglementation danoise. Les moulées sont donc plus riches, produisent moins de résidus et moins de phosphore et permettent au poisson une bonne croissance.

*Tableau 5. Réglementation danoise sur la composition de la moulée (adoptée en 1989, modifiée en 1994 et 1995)*

| **Items** | **Limites** | **Valeurs typiques au Québec** |
|---|---|---|
| Énergie brute (minimum) | 25 MJ/kg poids sec | 14 – 24 MJ/kg poids sec |
| Digestibilité (minimum) | 80 % de l'énergie brute | |
| N total (maximum) | 9 % | |
| Poussière (maximum) | 1 % poids sec | |
| P total (maximum) | 1 % poids sec<br>(env. 0,9 % poids humide) | 0,8 à 1,3 % poids humide |
| Taux de conversion | 1:1 (0,85 courant) | 1,2 – 1,3 et + + |

Plusieurs pisciculteurs de la mission ont noté que la moulée était de consistance plus dure que celle disponible ici, ce qui laisse supposer un procédé d'extrusion différent de celui d'ici.

Chez Aller Aqua, les moulées contiennent de 40 à 50 % de farine de poisson. Celle-ci est une source de protéine abordable et de haute qualité. Elle confère à la moulée un bon taux de conversion. Aller Aqua ajoute jusqu'à 20 % d'huiles végétales aux huiles marines servant à la composition de la moulée.

À cause du système de quota en place (voir plus bas) et de la réglementation qui fixe les paramètres environnementaux, la demande pousse les compagnies à développer des moulées à très bas taux de conversion afin de permettre au pisciculteur de produire plus de poisson sur son site. Si le quota portait sur les rejets de phosphore, la formulation de nouvelles moulées aurait possiblement pris une tangente différente.

### *6.2 La qualité de l'eau et la gestion à la ferme*

Le *Règlement sur les piscicultures d'eau douce* limite la quantité de moulée que chaque ferme piscicole peut utiliser. La quantité d'eau prélevée ou rejetée dans le ruisseau est déterminée selon la situation de chaque ferme et son environnement. La seule obligation à laquelle la ferme doit obligatoirement se conformer pour l'entrée d'eau est que le tuyau possède une grille de 10 mm pour la protection du milieu aquatique.

À la sortie de la pisciculture, des critères de qualité de l'eau établissent l'augmentation permise de certains paramètres dans le milieu récepteur (tableau 6). L'ensemble de ces paramètres doit être analysé dans un laboratoire certifié à partir d'échantillons prélevés par l'entreprise pendant une période de 24 heures et ce, au moins deux fois pendant la période des mois d'avril à octobre. De plus, une fois l'an, un représentant du Conseil régional doit procéder à une inspection visuelle du site et prendre des échantillons pour fins d'analyse.

*Tableau 6. Valeurs critiques de déversement entre l'affluent et l'effluent d'une pisciculture danoise*

| **Paramètres** | **Augmentation maximale de la concentration** |
|---|---|
| $DBO_5$ | 1 mg/l |
| Matières en suspension | 3 mg/l |
| Phosphore total | 0,05 mg/l |
| Azote ammoniacal | 0,4 mg/l |
| Azote total | 0,6 mg/l |

Il n'y a pas de critères précis pour la médication et l'utilisation des produits chimiques. Si nécessaire, les exigences sont implantées en fonction de chaque ferme. L'utilisation du vert de malachite est interdite par la loi. Dans les eaux de rejets, le niveau d'oxygène dans l'eau doit être supérieur à 60 % de saturation, ou encore si le niveau à l'entrée est moins de 70 %, il ne peut être inférieur de 10 % au niveau de l'entrée. Le Danemark a créé un critère de qualité de l'eau, l'index faunique danois, basé sur le nombre d'organismes aquatiques présents par volume d'eau. Chaque ferme doit s'assurer que leurs rejets n'ont pas d'impact sur les critères établis pour la rivière en aval de la ferme.

*6.3 Résultat de la réglementation*

Aujourd'hui, les autorités danoises considèrent que l'application des normes strictes en aquaculture et dans d'autres domaines a apporté les résultats voulus et a amélioré considérablement la qualité de l'eau des rivières au cours des années. Le phosphore, l'azote et la $DBO_5$ ont tous diminuent d'environ 50 % ou plus depuis l'adoption des mesures (figure 3).

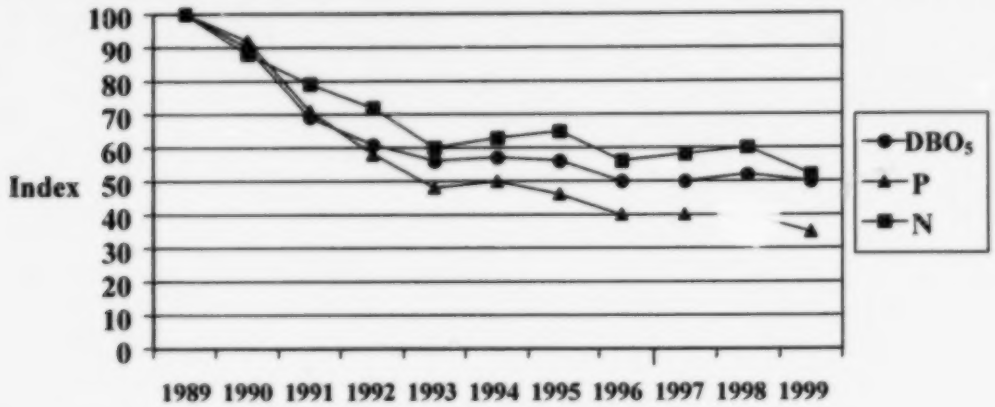


*Figure3. Diminution des rejets piscicoles au cours des ans au Danemark*

Au Danemark, la contribution de l'aquaculture dans les rejets ciblés a été estimée comme minime dans le bilan établi en 1999 (tableau 7).

*Tableau 7. Quantité (tonnes) de rejets produits par secteurs*

| Source | $DBO_5$ | P | N |
|---|---|---|---|
| Pisciculture (eau douce) | 3032 | 83 | 1127 |
| Autres sources | 6900 | 540 | 4600 |
| Diffuse | 26 100 | 2050 | 93 100 |
| Apport des piscicultures (%) | 8,4 % | 3,1 % | 1,1 % |

Les principaux points que le Danemark demande d'améliorer touchent maintenant :

- diminuer l'utilisation de l'eau de surface. D'ici 2005, les piscicultures devront diminuer à 50 % du débit moyen estival l'utilisation de l'eau de surface afin de rencontrer les nouvelles normes de l'Union Européenne,
- faciliter le passage de la faune aquatique,
- diminuer l'utilisation des produits chimiques et des médicaments.

*6.4 Conséquences des réglementations adoptées*

Depuis l'adoption des mesures en 1989, le nombre de fermes produisant de la truite a diminué de 30 % et la production totale, de 10 %. Par contre, la consommation de moulée, les taux de

conversion alimentaire, et les rejets environnementaux ont tous diminué respectivement de 28 %, 25 % et 50 %. Du point de vue environnemental, les mesures adoptées ont été un succès. Par contre, il y a une décroissance de l'industrie et une perte de part du marché à cause du climat d'incertitude qui règne depuis l'adoption des mesures.

Face au déclin des pêches, le Danemark réalise l'importance de la contribution de la production aquacole dans le secteur alimentaire. Les autorités ont donc demandé d'établir avec les responsables de l'environnement et de la réglementation, sous quelles conditions l'industrie pourrait augmenter sa production. Il a été convenu qu'une ferme qui réduit ses rejets par l'adoption de nouvelles technologies éprouvées pourra augmenter sa production et maintenir ses rejets au niveau initial. Le défi de l'Association et de ses consultants furent de trouver des concepts permettant de diminuer les rejets, sans augmenter significativement la main d'œuvre et les coûts d'opération.

Le projet des fermes modèles résulte de la négociation entre les différentes parties. L'objectif du projet est de développer et d'optimiser les fermes permettant la production de poissons en santé de qualité et avec moins d'impacts sur l'environnement. Plus spécifiquement, les objectifs sont :

- l'amélioration des performances environnementales,
- l'amélioration de l'efficacité énergétique,
- la réduction de l'utilisation de l'eau,
- la réduction du travail piscicole,
- la rentabilisation des systèmes piscicoles,
- de maximiser l'utilisation de l'aliment,
- d'avoir de bonnes conditions d'élevage ou de milieu de vie pour les poissons,
- de réduire l'utilisation de médicaments et de produits thérapeutiques.

Une fois les coûts de construction, d'opération et l'impact environnemental de ces fermes caractérisés et admis par le gouvernement, ces modèles pourront être reproduits et le processus d'acceptation sera simplifié par les autorités compétentes.

Trois modèles de «fermes modèles» ont été élaborés et sont décrits dans le tableau 8. Le type 1 est un modèle plus traditionnel avec réutilisation de l'eau et un système de traitement complet de l'effluent de la ferme par marais filtrant. Le type 2 est en recirculation semi-intensive et utilise une combinaison de filtre à tambour et de biofiltre pour le traitement de l'eau. Le type 3 est semblable au type 2 mais fonctionne en mode de recirculation intense. Un marais filtrant est utilisé pour le traitement des boues ou des eaux riches en phosphore.

*Tableau 8. Types de fermes modèles en recirculation pour un droit de 100 t de moulée par an*

| **Type** | **1** | **2** | **3** |
|---|---|---|---|
| **Eau (l/s)** | 125/62 | 60 | 15 |
| **Traitement** | Trappe à sédiments<br>Micro filtration<br>Marais filtrant | Trappe à sédiments<br>Micro filtration<br>Filtration mécanique<br>Biofiltre | Trappe à sédiments<br>Micro filtration<br>Filtration mécanique<br>Biofiltre<br>Marais filtrant |

Une description détaillée de l'entente danoise entourant les fermes modèles est disponible sur le site Internet de l'Institut national de recherche environnementale du Danemark au lien suivant :. http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_arbrapporter/rapporter/ar183.pdf

L'augmentation des quotas de moulée attribués aux entreprises au Danemark est calculée selon la formule mathématique suivante :

Quantité d'aliments = $(100 - Rt(DBO_5, P, N)) / (100 - Rm(DBO_5, P, N)) \times 100$

où : Rt : l'efficacité de traitement des fermes traditionnelles

Rm : l'efficacité de traitement des fermes modèles

$Rm = (P - U) / P$

où : U : les rejets totaux $DBO_5$, P, N basés sur 26 échantillons en duplicata

P : les rejets théoriques de la production en $DBO_5$, P, N

Au cours des prochaines années, une quinzaine de fermes modèles adopteront une des 3 approches proposées et implanteront les modifications sur leur site de production. Ces fermes feront l'objet d'un suivi régulier et une fois leur efficacité prouvée, elles recevront la permission des autorités d'augmenter leur production piscicole.

## 7.0 Visites de fabricants de moulée et d'une usine de transformation

Trois compagnies se partagent principalement le marché de la moulée à truite au Danemark : le groupe Biomar, Dana Feed, et Aller Aqua. Les trois compagnies ont été visitées lors de la première mission. Aller Aqua a été revisitée lors de la seconde mission. La compagnie Hamlet Protein a aussi reçu la visite de quelques participants de la première mission.

### *7.1 Visite du fabricant de moulée Biomar, le 9 octobre 2003*

| | |
|---|---|
| BioMar | BioMar Group<br>Mylius Erichsensvej 35<br>DK-7330 Brande, Danemark<br>Tél: +45 97 18 07 22<br>Télec: +45 97 18 48 45 |

i) Représentant

Peter Jessen, directeur EuroSupport : pbj@biomar.dk
Ole Christensen, directeur R&D : och@biomar.dk

ii) Historique

Biomar est une compagnie multinationale qui a acquis 40 ans d'expérience dans le développement et la fabrication de moulée pour une variété d'espèces aquatiques d'eau douce et d'eau salée. Biomar emploie environ 500 travailleurs. Le bureau chef de Biomar appartient à Korn-Og-Foderstoff A/S (KFK) dont les actions sont détenues à 62,3 % par Norsk Hydro Asia. Biomar est reconnu comme le premier producteur de moulée d'aquaculture en Europe. Il a été le premier producteur de moulée en Europe à obtenir la certification internationale ISO 9001 sur

les standards de qualité. La compagnie a six usines de production établies dans les pays suivants : le Danemark, la Norvège, l'Écosse, la France, la Grèce, et le Chili. Elle possède aussi un réseau de ventes internationales qui couvre ses principaux marchés.

iii) Points spécifiques

- La compagnie contrôle environ 50 % du marché danois de la truite. Il est en pleine expansion au Chili dans l'aquaculture marine.
- Le prix de la moulée se situe à environ 7 Kr/kg, soit 1,50 $/kg. Le prix de vente de la truite a baissé beaucoup au cours des dernières années et se situe entre 3,00 et 3,30 $/kg.
- La compagnie travaille continuellement sur de nouvelles formulations. Elle estime que le taux maximum de gras que la truite arc-en-ciel pourrait accepter dans la moulée se situe entre 35 et 40 %.
- La compagnie offre des cours de formation aux pisciculteurs sur l'utilisation correcte de la moulée.
- La compagnie fait de la recherche sur l'importance de l'effet de l'oxygène en relation avec la température sur la croissance. Il insiste sur le fait que les niveaux d'oxygène doivent être adéquats afin d'assurer un bon taux de conversion et une bonne croissance.
- La compagnie indique aussi que le producteur doit limiter les rations de moulée afin d'obtenir le meilleur taux de conversion.

*7.2 Visite du fabricant de moulée Dana Feed, le 7 octobre 2003*

| | |
|---|---|
| | DANA FEED A/S<br>Havnen 13 DK-8700, Horsens<br>Tél.: +45 75 61 12 00<br>Télec: +45 75 62 43 98<br>Courriel: df@danafeed.dk |

i) Représentants

Poul G. Jensen, assistant directeur : pgjensen@danafeed.dk
Henrik Jarlbæk, directeur technique : hjarlbaek@danafeed.dk

ii) Historique

La compagnie Dana Feed A/S fait partie du groupe Provimi Holding B.V. Elle possède quatre usines de moulée à poissons. Elles sont situées en Grèce, au Danemark, en Espagne et au Chili. Provimi est une des plus grosses compagnies européennes dans le monde agroalimentaire. La compagnie produit une variété de moulées pour différentes espèces incluant le saumon, la truite, les ombles, l'anguille, le turbot, l'aiglefin, le loup de mer, le bar, la morue et plusieurs autres.

Dana Feed s'est établie comme productrice de moulée pour poissons depuis 1990. Elle approvisionne maintenant plus de 20 pays, à partir de sa compagnie mère basée à Horsens au Danemark. L'usine de production a été construite en 1997 sur le bord d'un quai, et a la possibilité d'approvisionner directement les bateaux alimentant les poissons élevés en cage.

Dana Feed est la seconde compagnie de moulée en importance au Danemark.

iii) Points spécifiques

- La production annuelle de Dana Feed est d'environ 45 000 t.
- La moulée la plus vendue contient 30 % de lipides et 44 % de protéines.
- Au cours des 12 dernières années, les pisciculteurs danoises ont diminué leurs besoins en moulée d'environ 25 %, grâce à de meilleurs taux de conversion.
- La réglementation présente et l'utilisation de quota de moulée ont des avantages pour l'industrie mais ne stimulent pas l'adoption de nouvelles technologies favorisant la réduction des rejets.
- Les taux de conversion débute à 0,8 pour les poissons de 300 à 500 g.
- L'élimination de la farine de sang dans la fabrication de la moulée a introduit des problèmes de cataracte qu'il a fallu corriger par l'ajout d'histidine.
- La moulée n'est qu'une des composantes du contrôle de l'impact environnemental. La gestion à la ferme et la génétique des poissons sont des aspects tout aussi importants.
- La compagnie exporte au Canada de la moulée pour les larves dans les écloseries pour poissons marins.

*7.3 Visite du fabricant de moulée Aller Aqua, le 6 octobre 2003 et le 28 janvier 2004*

| | |
|---|---|
| ALLER AQUA | ALLER AQUA<br>Allervej 130<br>DK-6070 Christiansfeld<br>Denmark<br>Tél.: +45 73261200<br>Télec.: +45 73261290<br>Courriel: aller-aqua@aller-aqua.dk |

i) Représentants

Hans Erik Bylling, co-propriétaire, directeur du personnel : heb@aller-aqua.dk
Jørgen Kiærskou, directeur des ventes Danemark : jki@aller-aqua.dk
Jens Toftdahl, directeur des ventes à l'exportation : jt@aller-aqua.dk

ii) Historique

Aller Molle est une entreprise familiale qui produit des aliments pour trois domaines d'activités tels les aliments pour poisson d'eau douce et salée, les aliments pour les animaux fermiers (vaches, porcs, moutons) et pour les chiens et chats. Les origines de cette entreprise œuvrant dans le domaine de la transformation des grains remontent à environ 1000 ans. Les propriétaires actuels, la famille Bylling, exploite cette entreprise depuis le tout début du 20$^{ème}$ siècle. Aller Aqua, la division de Aller Molle spécialisée dans la fabrication de moulée à poisson, a été fondée dans les années 1965. Elle produit des aliments pour la truite, le saumon, les poissons de mer, la carpe, l'esturgeon, l'écrevisse et la crevette. Leurs produits sont vendus dans près de 20 pays, dont l'Allemagne, la Suède, l'Irlande, l'Italie. La compagnie possède

deux manufactures, une à Christianfeld, et l'autre en Pologne. Les objectifs de l'entreprise envers sa clientèle sont un produit et un service de qualité, économique, à la fine pointe du développement, un sens des responsabilités (traçabilité) et la ponctualité.

Pour la truite, elle produit différents types d'aliments qui sont adaptés selon le stade de développement des poissons et le type de système de production (exemple : circuit fermé). Au niveau du contenu, on peut noter que la teneur en phosphore sur une base de matière sèche varie généralement de 1,6 % pour la moulée de démarrage d'alimentation à près de 0,95 % pour celle de l'engraissement. Les taux de conversion calculés sont en général relativement bas et varient selon la taille des poissons de 0,7 à 0,9.

iii) Points spécifiques

- La compagnie comble la demande de 20 % du marché de la truite au Danemark.
- La compagnie produit environ 50 000 t qui sont en partie exportées en Europe.
- Elle met l'emphase sur le contrôle de qualité des produits à l'entrée et à la sortie de l'usine.
- Le niveau de phosphore dans la moulée doit être de 1,0 % poids sec, (env. 0,9 % poids humide) mais le gouvernement tolère jusqu'à 1,3 % occasionnellement.
- La compagnie donne des cours de formation aux entreprises.
- La compagnie utilise de la farine de poisson contenant 72 % de protéine, 12-14 % de cendre et 2-2,5 % de P. Les diètes contiennent 45-50 % de farine de poisson.
- Les autres ingrédients sont le soya, la farine de sang, le blé et l'huile (20 % soya-canola, 80 % huile marine).
- La compagnie porte une attention particulière à la préparation des ingrédients. Ils sont moulus très fin pour assurer une bonne absorption. Le processus d'extrusion est aussi très contrôlé.
- La compagnie s'approvisionne auprès de quatre fournisseurs de farine de poisson répartis dans différents pays. Elle achète dans une région plutôt qu'une autre selon la saison et la taille des prises. La grosseur du poisson assure une farine de poisson de qualité et à bas niveau de phosphore.
- La compagnie envisage d'utiliser plus de sources de protéines végétales telles que le soya, le maïs et le blé pour limiter les apports de phosphore. Ces produits coûtent cependant plus cher que les farines de poisson.
- La moulée à truite Aller Elips permet de réduire considérablement les rejets dans l'environnement. Entre autres, le rejet de phosphore peut être aussi bas que 1,75 kg de P par tonne de production. Dans ce cas, le taux de conversion alimentaire est aussi bas de 0,75. De plus, le rejet de phosphore est presque entièrement solide dans une proportion de 94 %. Cette moulée est utilisée par les producteurs en étangs. Cette moulée contient, selon le calibre, 0,95 ou 0,96 % de phosphore.
- La moulée Aller Cirkel est spécialement développée pour les stations piscicoles fonctionnant en recirculation avec biofiltration. Elle contient 0,97 % de phosphore. Il est surprenant de constater que les rejets en matières sèches, en azote et en phosphore

sont un peu plus élevés avec cette moulée qu'avec d'autres moulées tel que la Aller Elips.

- La compagnie a déjà eu des ententes avec d'autres compagnies afin qu'ils produisent leurs moulées sous licence.
- La compagnie fait partie du Green Network. Ce réseau s'applique à diminuer la consommation d'énergie, les odeurs et les rejets à l'usine.

*Tableau 9. Rejets estimés pour 1000 kg de poissons produits pour un taux de conversion typique*

| | Aller Elips | | Aller Cirkel | |
|---|---|---|---|---|
| | XS | S | XS | S |
| Matières sèches (kg) | 54,9 | 64,3 | 71,3 | 71,3 |
| Azote total (kg) | 27,6 | 28,8 | 31,4 | 31,4 |
| dans les fèces (%) | 12,7 | 12,2 | 15,6 | 15,6 |
| dans l'eau (%) | 87,3 | 87,8 | 84,4 | 84,4 |
| Phosphore total (kg) | 1,75 | 2,20 | 2,20 | 2,20 |
| dans les fèces (%) | 94 | 95 | 98 | 98 |
| dans l'eau (%) | 6 | 5 | 2 | 2 |

### *7.4 Visite du fabricant de concentré de protéines végétales Hamlet Protein, le 7 octobre 2003*

| | |
|---|---|
| HAMLET PROTEIN | B.P. 130<br>Saturnvej 51<br>DK-8700, Horsens<br>Tél: +45 75 63 10 20<br>Télec: +45 75 63 10 25 |

i) Représentants

Ole Kaae Hansen, directeur à la gestion : okh@hamletprotein.dk
Stephen Paul Rose, directeur des ventes : spr@hamletprotein.dk

ii) Historique

Hamlet Protein A/S a été crée en 1992 et est détenue par des intérêts danois. L'objectif de la compagnie est de développer et de produire et commercialiser des produits à base de protéines végétales. L'usine, construite en 1993, est située à Horsens. De plus une usine pilote est utilisée pour le développement de nouveaux produits, souvent avec la collaboration de clients. Dans le cas de la préparation de protéines de soya, il est nécessaire d'enlever les composés anti-nutritifs présents dans le produit de base. C'est en quoi se spécialise la compagnie. La compagnie Hamlet Protein se distingue par le développement de procédés originaux dans des

conditions douces, versatiles et économiques. La compagnie utilise très peu de produits chimiques dans ses procédés et par conséquent, a peu d'impact sur l'environnement.

iii) Points spécifiques

- La compagnie utilise des traitements enzymatiques pour réduire l'activité des composés anti-nutritionnels dans la fève de soya et augmenter le contenu en protéine.
- Elle a développé plusieurs produits pour l'alimentation du porc, pour remplacer le lait des veaux, pour nourrir les visons et les poissons.
- Certains produits sont traités à la phytase pour augmenter la disponibilité du phosphore.
- Plusieurs études montrent que les poissons élevés avec une moulée contenant leurs produits ont une bonne croissance et un goût agréable.
- Le marché actuel de la compagnie est surtout en Europe du Nord et en Asie. Elle considère étendre son marché à l'Amérique du Nord et possiblement y installer une usine.
- La compagnie enverra des échantillons à l'Université Laval.

*7.5 Visite de l'entreprise de fumage de truite Hevico, le 27 janvier 2004*

Nous avons visité une entreprise spécialisée dans le fumage de la truite, soit la compagnie Hevico, située à Vejle. Cette entreprise produit 3000 tonnes par année de truite fumée à chaud et présentée en filets papillons (figure 4).

*Fig 4. Truite fumée Hevico*

- L'entreprise reçoit près de 20 tonnes de truites à tous les jours. Généralement, quatre voyages de camions par jour amènent les truites de différentes stations piscicoles du Danemark à cette usine. Chaque voyage peut contenir 5 à 6 tonnes. Le camion présent lors de la visite transportait 12 bassins d'environ 1,5 m x 3 m x 1 m de profond. Il utilise des réservoirs d'oxygène liquide.
- Le poisson est transféré dans des bassins extérieurs circulaires puis est acheminé par des pompes à poisson à l'intérieur de l'usine. La transformation jusqu'au produit fini se fait suivant une chaîne de locaux adjacents sans qu'il y ait de déplacements croisés. Les premières étapes de la production sont l'abattage jusqu'à la mise en filets papillons. Cela se fait dans une première salle. Ces étapes sont l'insensibilisation par électrocution, puis l'étêtage, l'éviscération/filetage et le trimage. Les arêtes transversales (pin bones) ne sont pas enlevées. Cette chaîne de production utilise des équipements « Baader » construits pour transformer le hareng et modifiés pour la transformation de la truite. La mise en filet est au rythme de 150 truites/minute. Le poids moyen de la truite à l'entrée est de 350 g. Le poisson a une chair blanche non pigmentée. Une chair pigmentée n'aurait pas une bonne couleur après le fumage.
- Après la mise en filets, le poisson est acheminé dans une salle adjacente où les filets sont pesés et classés en trois ou quatre catégories de poids. La pesée des filets de poisson se fait par un tapis roulant muni de senseurs de poids. Un bras fait tomber les filets dans

les bacs selon leur poids. Par la suite, les filets sont mis dans une saumure et gardés en chambre froide pour une durée d'environ 20 à 35 minutes. Puis, sans être rincés et sans être asséchés, les filets sont placés sur des tiges en acier inoxydable et sur des supports pour être acheminés dans les fumoirs.

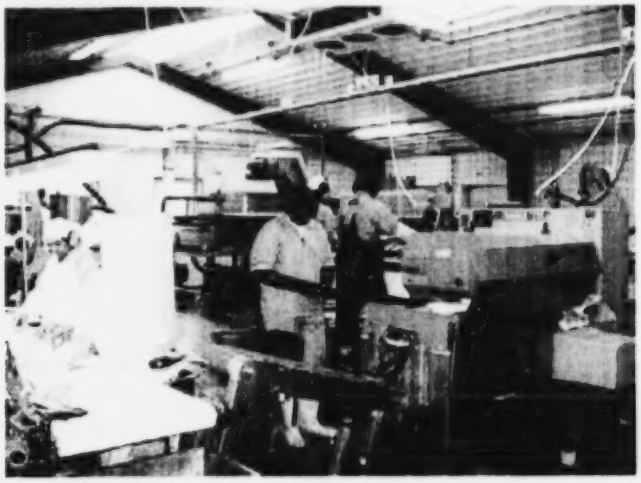

*Figure 5. Transformation de la truite chez Hevico*

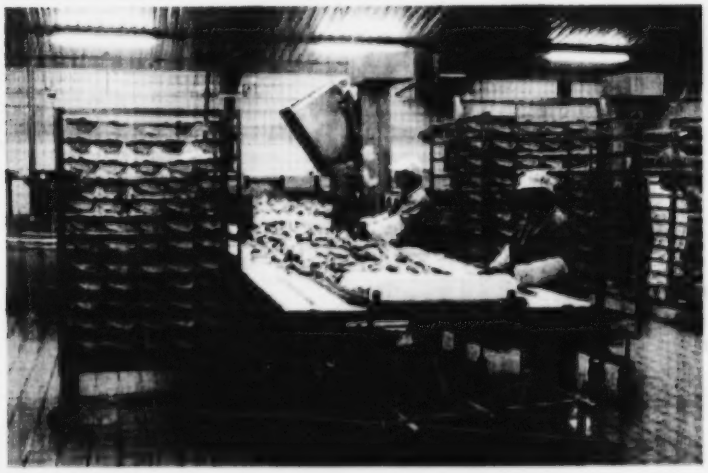

*Figure 6. Mise en support de la truite pour le fumage chez Hevico*

- Le fumage se fait dans des locaux différents à une température de près de 62,5 °C. La durée du fumage varie, en fonction de la taille des filets, entre 20 et 35 minutes. La fumée est générée à partir de copeaux de bouleau avec une combustion initiée par des éléments électriques. Après le fumage, les filets sont placés en chambre froide jusqu'au lendemain. Toutes les truites reçues durant la journée (20 tonnes) sont fumées durant cette même journée.

- Le lendemain, dans un autre local, les filets sont dépiautés manuellement, mis sur des planchettes de carton, emballés en paquets de 125 g, mis en boîte et placés en chambre froide pour les livraisons.
- L'entreprise a 40 employés. Ils travaillent sur un quart par jour d'une durée de 7,5 heures. Il y a une équipe de nuit pour le nettoyage de l'usine. Le salaire est de près de 20 $/h, incluant les bénéfices marginaux, soit l'équivalent du salaire minimum au Danemark.
- Les résidus de la transformation, soit les têtes de truites et les arêtes sont vendues aux fabricants d'aliments pour chats et à chiens.
- Le rendement au filetage est de 62 % et le rendement au niveau du produit final en filets fumés est de 37 %.
- La presque totalité de la production est livrée en Allemagne.
- L'entreprise existe depuis 1992. Elle est en voie d'obtenir une accréditation de type HACCP. La plus grande crainte de cette entreprise est un manque anticipé d'approvisionnement en truite des stations piscicoles danoises.

## 8.0 Visite des stations piscicoles

### *8.1 Les fermes traditionnelles au Danemark – généralités*

*Figure 7. Installation piscicole traditionnelle à la ferme Fundeholme Dambrug*

- Les eaux sont beaucoup plus chargées en minéraux que celles du Canada. Il semblerait que dans bien des cas, la présence d'une eau ferreuse et d'une alcalinité élevée favorise une plus grande rétention du phosphore dans les stations piscicoles. Dans certains cas, les concentrations de phosphore sont moindres dans l'eau sortant des stations piscicoles que celles qui entrent.

*Tableau 10. Valeurs moyennes de qualité d'eau des pisciculture danoises*

| | |
|---|---|
| Alcalinité | env. 100 mg/l |
| Dureté | env. 100 mg/l |
| pH | 7,0 à 7,3 |
| Fer total | de 0,5 à 2,0 mg/l |

- L'eau souterraine présente souvent une concentration plus élevée en phosphore au printemps à cause d'un plus grand lessivage des terres agricoles. La concentration en phosphore peut se situer à une concentration de 0,2 mg/l au printemps, alors qu'elle peut être de 0,04 mg/l pour le reste de l'année.
- La détermination des rejets piscicoles au Danemark est basée principalement sur des calculs théoriques tenant compte du contenu de la moulée, de la production piscicole, du taux de conversion alimentaire et probablement sur une certaine rétention dans les stations piscicoles. L'échantillonnage des rejets est fait à quelques reprises dans l'année.
- Les fermes traditionnelles utilisent des étangs de sédimentation et parfois des filtres à tambour. Pour réduire leurs rejets, l'effort des fermes porte davantage sur la réduction du taux de conversion, la qualité de la moulée et la réduction des quantités utilisées.
- Les charges en poissons dans les fermes traditionnelles varient habituellement de 10 à 15 kg/m$^3$.
- Les étangs ont des volumes de 150 à 200 m$^3$ avec des débits variant de 10 à 25 l/sec ou 36 à 90 m$^3$/h.
- Dans les étangs traditionnels, l'oxygénation de l'eau se fait principalement par le changement d'eau rapide dans les bassins mais aussi parfois par des aérateurs de surface. Toutefois, les producteurs veulent les enlever des bassins où sont les poissons pour placer l'aération autant que possible en dehors des zones d'élevage (exemple : canaux d'amenée d'eau).
- Le but des fermes modèles est de récupérer la totalité (100 %) du phosphore particulaire libéré par la production. Ils estiment à 60 % la proportion de phosphore particulaire.
- La consommation énergétique moyenne des stations piscicoles modèles au Danemark se situe entre 1,9 et 2,3 kWh/kg de production. Les fermes traditionnelles ont une consommation électrique de 0,8 kWh/kg de production. Ces dernières fonctionnent souvent par gravité. Le prix de l'électricité au Danemark est de 0,10 $/kWh.

### *8.2 La ferme Binderup Mølle Dambrug, visitée le 8 octobre 2003*

#### *Description* générale

- Cette pisciculture fait partie du projet de ferme modèle et correspond à une ferme de type 3.
- Cette entreprise produit de la truite arc-en-ciel de 400 à 600 g pour le marché de la consommation. Tous ces poissons sont destinés à une transformation en filet.

- Cette pisciculture a été modifiée, il y a environ trois ans, pour passer d'un système traditionnel d'élevage en étang à un système d'élevage en raceways en recirculation. Il y a toujours des étangs et un bâtiment d'alevinage, mais qui n'ont pas fait partie de notre visite.
- Le coût du réaménagement a été de 3 300 000 Kr danoises, soit un peu moins de 700 000 $. Ceci représente un coût de réaménagement d'environ 3500 $/t de production annuelle. La moitié des dépenses ont été pour l'excavation et le béton.
- Le quota de moulée de ce site est de 200 tonnes.
- La moulée utilisée est la Cirkel de Aller Aqua, développée spécifiquement pour les systèmes en recirculation. Selon le pisciculteur, cette moulée avait encore besoin de développement afin d'obtenir une meilleure efficacité des systèmes de traitement, particulièrement au niveau des cônes de sédimentation.
- Le taux de conversion serait entre 0,8 et 0,9 selon M. Michelsen, ce qui donnerait une production annuelle totale d'environ 225 à 250 tonnes.
- La majorité de la production (200 tonnes) est effectuée dans le nouveau système en raceways. Celui-ci est en fonction depuis 26 mois. Selon M. Michelsen, ces bassins pourraient soutenir une production annuelle de 275 tonnes.
- Le débit circulant dans le nouveau système est de 600 l/sec (2160 m³/h, 7925 gipm), mais l'apport d'eau neuve, d'origine souterraine, n'est que de 32 l/sec (115 m³/h, 425 gipm), ce qui représente environ 5% du débit circulant. L'eau souterraine a été utilisée au préalable dans le bâtiment d'alevinage.
- Cette entreprise ne fonctionne qu'avec deux employés (incluant le propriétaire).

*Infrastructures de production*

- La nouvelle plate-forme d'élevage est constituée de quatre raceways en béton de 100 m de longueur par 6 m de largeur et 1,1 m de profondeur utile (figures 8 et 9).

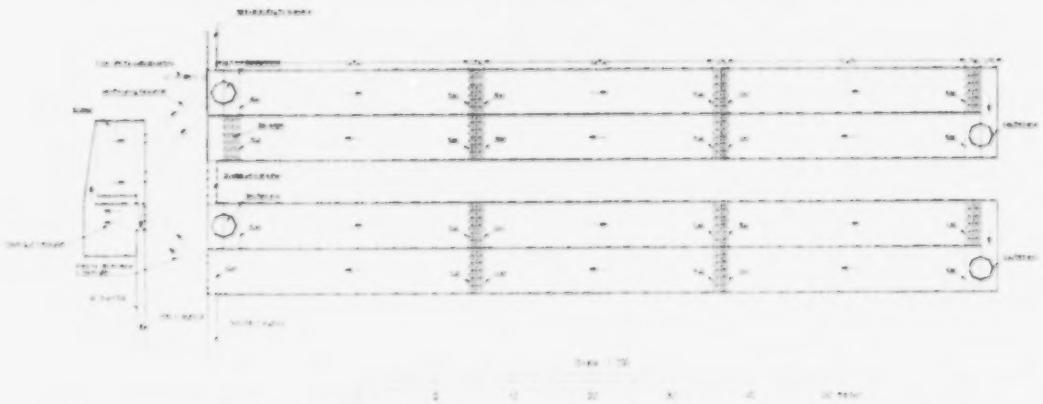

*Figure 8. Plan de la nouvelle plate-forme d'élevage de l'entreprise Binderup Mølle*

- Les quatre raceways sont en série, c'est-à-dire que l'eau passe dans les raceways un après l'autre pour ensuite être traitée et revenir au premier bassin.

- Chaque raceway est constitué de 3 zones d'élevage d'environ 30 m de longueur. Après chacune de ces zones, on retrouve une section de 2 m où les poissons n'ont pas accès et qui sert à la sédimentation des particules (voir description à la section 3).
- Le volume total de bassins serait donc d'environ 2640 $m^3$. Le volume utile pour l'élevage est d'environ 2300 $m^3$.

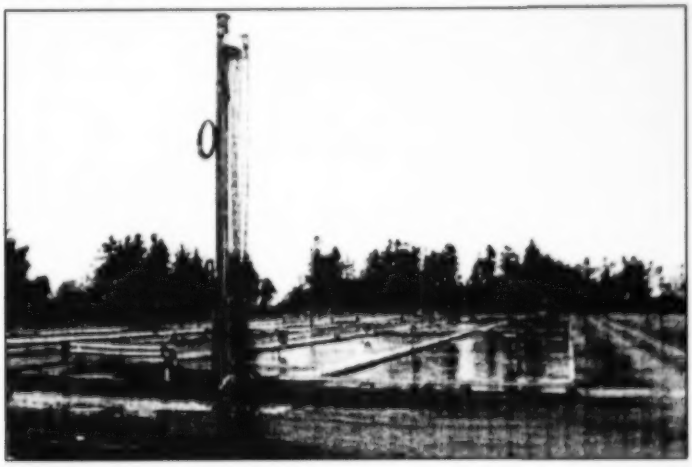

*Figure 9. Vue générale de la nouvelle plate-forme d'élevage de l'entreprise Binderup Mølle*

- Le débit d'eau neuve étant de 115 $m^3/h$, il y a donc environ un renouvellement d'eau quotidiennement dans tout le système.
- Il faut environ 1,5 heure pour que l'eau fasse une rotation complète de tous les bassins et du biofiltre. Par contre, dans chaque unité d'élevage de 30 m, le taux d'échange d'eau est d'environ 10 fois par heure. Le déplacement d'eau y est donc très élevé.
- Ce fort courant permet de faire avancer les détritus (fèces, moulée non consommée) vers les zones de sédimentation sauf pour les sections où il y a les plus petits poissons. L'activité de ceux-ci n'est pas assez importante et le pisciculteur doit aspirer à l'occasion les détritus par vacuum.
- Étant donné ce fort courant, les poissons ne sont introduits dans les raceways qu'à une taille minimale de 50 g. Le pisciculteur est donc obligé d'utiliser ses anciens étangs, approvisionnés en eau de surface, pendant le temps entre la sortie du bâtiment d'alevinage et l'atteinte de cette taille. Le pisciculteur vise à changer cette pratique à cause des risques sanitaires et du stress causé au poisson.
- Les quatre raceways sont sur un même niveau. En amont de chacun, il y a un puits d'aération servant à relever l'eau par émulsion d'air (« air-lift »). Ce puits a 4 m de profondeur par 3 m de diamètre. Il est partagé dans son centre par une paroi de métal qui descend jusqu'à 0,6 m du fond (figure 10).
- Un compresseur de 50 HP est utilisé pour pousser de l'air dans les quatre puits d'aération. Il y a 40 % de l'air qui est envoyé dans le courant descendant et 60 % dans le courant ascendant. Ceci permet de relever le niveau d'eau de 5 à 10 cm au début de

chaque raceway. Ceci permet aussi de monter la concentration en oxygène dans l'eau à plus de 90 %. Celle-ci ne diminue jamais plus bas de 70 % dans les raceways. Pour le débit d'eau de 2160 m³/h, le débit d'air est d'environ 600 m³/h dans chacun des puits d'aération.

- Par mesure de sécurité et comme tout le système dépend de l'approvisionnement constant en air, un compresseur de 40 HP est utilisé en rotation avec celui de 50 HP.
- Le coût de l'oxygénation avec ce système est évalué à environ 0,07 $/kg $O_2$ (avec les prix en vigueur au Danemark), alors qu'il serait d'environ 0,50 $/kg $O_2$ si on avait utilisé de l'oxygène liquide.
- Toute l'eau est donc déplacée par ce système « air-lift ». La seule pompe dans le système est celle servant à pomper les 115 m³/h d'eau souterraine. La consommation maximale d'électricité pour le déplacement de l'eau et l'aération est de 36 kWh.
- Il y aurait un léger problème de sursaturation en azote avec ce système. Le niveau serait à 104 %. Comme celui-ci serait constant, ceci n'amènerait pas d'effets néfastes sur les poissons selon M. Michelsen.

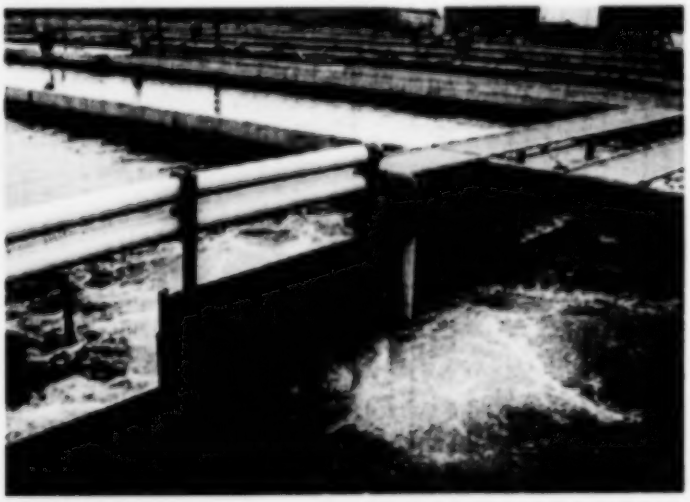

*Figure 10. Puits d'aération et de remontée d'eau par émulsion d'air (« air-lift »)*

- L'alimentation est faite par le biais de nourrisseurs à la demande qui sont remplis une seule fois par jour. Il y a deux nourrisseurs par section de 30 m.
- La température de l'eau à la sortie du puits est de 8 °C. Celle-ci augmente à 15 °C en été et diminue à 4 °C en hiver. La hausse de température est contrôlée au besoin en faisant entrer plus d'eau neuve. M. Michelsen évalue qu'une part importante de la hausse de température est reliée au dégagement d'énergie par les poissons lors de la digestion de la moulée et à la recirculation.
- Le pisciculteur ne fait aucun conditionnement de ses poissons avant l'abattage. Il n'y a donc aucun bassin réservé à cette fin.

*Traitement de l'eau*

- À même les raceways, il y a à tous les 30 m une zone de sédimentation de 2 m où les poissons n'ont pas accès. Au fond de chacune de ces zones, on retrouve 12 cônes de sédimentation (figure 11). On retrouve au total 132 de ces cônes dans le système.
- Ces cônes ont une surface de 1 m² (1 × 1 m) et une profondeur de 1 m. Le haut de ces cônes est au niveau du fond des raceways. Ceux-ci ramassent les particules qui se déplacent au fond des bassins. Il y a une ouverture au fond de ces cônes fermée par un bouchon qui peut être soulevé de la surface avec un câble.
- Les cônes sont vidés une fois par jour à 2 ou 3 fois par semaine selon la saison. Lors de la vidange, le bouchon est enlevé pendant environ 3 secondes. Ceci serait suffisant pour vider les cônes, tenant compte de la pression d'eau. Il faudrait environ une heure au total pour faire la vidange de tous les cônes.
- Environ 80 % des sédiments récupérés proviendraient des cônes alors que les filtres à tambour contribuent pour 20 %. Selon le pisciculteur, l'efficacité de ces systèmes dépend beaucoup de la qualité de la moulée
- Cette valeur élevée d'efficacité est étonnante si on considère le taux très élevé de circulation de l'eau dans les bassins et la courte longueur de la zone de sédimentation (2 m). Il semble évident à première vue que les cônes ne peuvent ramasser que les particules circulant près du fond.
- Sous les cônes, il y a un réseau de tuyaux qui amènent les boues vers un puits humide d'où les boues sont pompées vers un lit de séchage de 50 × 7,5 m. Le surnageant de ce puits est dirigé vers un marais filtrant d'environ 5300 m². Nous n'avons pas vu directement ces deux derniers items. On nous en a parlé lors de la visite et ils sont indiqués sur les plans qu'on nous a remis.

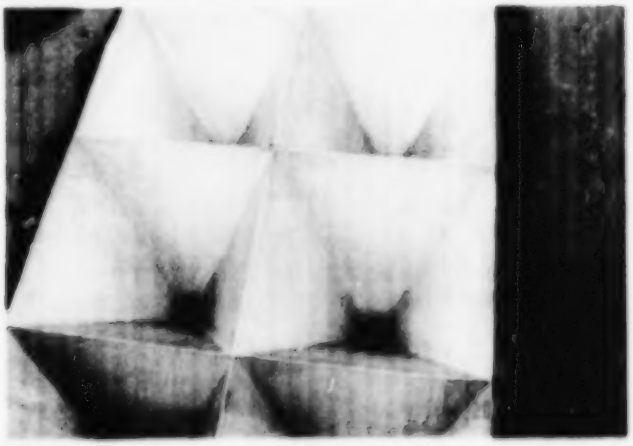

*Figure 11. Cônes de sédimentation à la construction*

- Après le dernier raceway, l'eau subit différents traitements avant d'être réutilisée, soit une micro-filtration pour enlever les particules, et ensuite une biofiltration pour abaisser la concentration en ammoniac dans l'eau.

- La micro-filtration est faite par deux filtres à tambour rotatif ayant des membranes filtrantes de 74 µm d'ouverture de maille. Ces deux filtres sont sous un bâtiment (figure 12).
- L'eau de lavage de ces filtres est envoyée dans un bassin d'accumulation non couvert, et dans lequel on injecte de l'alun au moyen d'une pompe doseuse (figure 12). Le surnageant de ce bassin est retourné dans le biofiltre. Même si cette eau a été traitée à l'alun, cela ne créerait aucun problème pour les poissons, la dilution étant élevée.

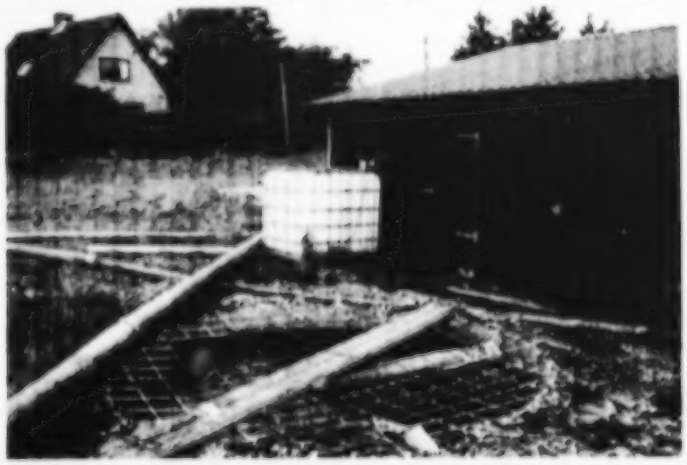

*Figure 12. Bâtiment des filtres rotatifs et bassin d'accumulation des boues de lavage avec injection d'alun*

- Le biofiltre est situé à l'extérieur, à côté du bâtiment des filtres à micro-tamis (figure 13). Ce biofiltre est de type submergé à lit mobile. Il s'agit d'une fosse de béton de 10 m par 5 m. La profondeur utile est de 2,1 m. Le volume du biofiltre est donc de 105 m³. La fosse est remplie de modules de plastique « Kaldnes ».

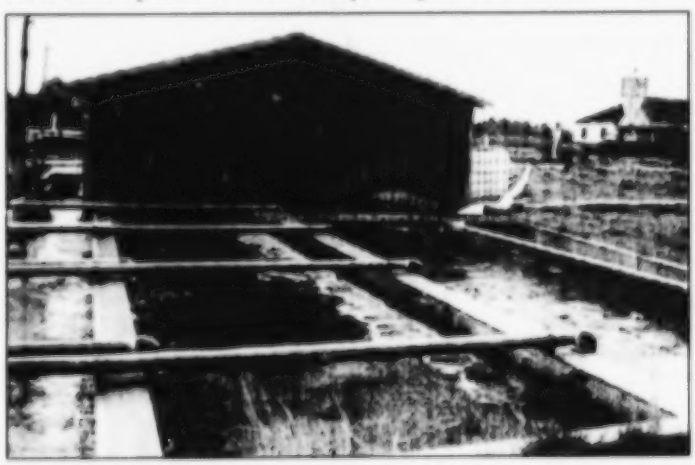

*Figure 13. Biofiltre de type submergé à lit mobile*

- L'eau neuve, provenant du bâtiment d'alevinage, est introduite dans le canal d'entrée du biofiltre pour y être mélangée avec l'eau recirculée.
- L'eau circule latéralement dans le biofiltre. Elle entre par le côté le plus long (10 m), et ressort 5 m plus loin dans un canal de 1 m de large et d'où est reprise l'alimentation en eau des raceways.
- Il y a aussi à l'extrémité de ce canal un seuil déversoir en V par où est évacué le surplus d'eau vers le canal de sortie de l'eau des anciens étangs, et ensuite directement au cours d'eau récepteur.
- Le biofiltre est contenu par deux cloisons métalliques grillagées. On en retrouve une autre dans le milieu du bassin, dans le sens de la largeur. Il y a des tuyaux d'aération au fond du biofiltre le long des cloisons du milieu et de la fin du biofiltre.
- Un compresseur de 15 HP (avec un autre compresseur de 15 HP en sécurité) est utilisé spécifiquement pour l'aération du biofiltre. La consommation d'électricité pour ce poste est évaluée à 4,5 kWh.
- Le biofiltre n'a pas été inoculé préalablement à sa mise en fonction.
- Après plus de 2 ans d'opération, le pisciculteur n'a pas eu à nettoyer le biofiltre, ni à en changer les média.
- En cas de traitement chimique ou autre, il y a un canal de diversion pour contourner le biofiltre et retourner l'eau directement dans les raceways.
- La concentration en ammoniac à l'entrée du biofiltre serait assez constante à 0,008 mg/l, et elle serait aussi constante à 0,006 mg/l à la sortie.
- Le pH resterait assez constant à 7,0. Il n'y a aucun contrôle du pH dans le système.

*Environnement*

- Selon M. Michelsen, les rejets de phosphore dans le cours d'eau récepteur seraient de 150 g P/tonne de moulée, soit environ 125 g P/tonne de production annuelle. Les rejets en azote, phosphore et $DBO_5$ de cette entreprise correspondraient environ à 10 % des rejets d'une ferme danoise traditionnelle. D'autres données fournies par l'« Association of Danish Trout Farmers » et par M. Jensen du ministère de l'Environnement indiquent des rejets moyens des stations piscicoles en eau douce variant entre 1,9 et 2,6 kg P/tonne de production annuelle.
- Un des objectifs des fermes modèles est la réduction de la consommation énergétique. Pour le nouveau système d'élevage mis en place à cette pisciculture, la consommation maximale est de 45,5 kWh (36 kWh pour l'aération, 4,5 kWh pour le biofiltre et 5 kWh pour la micro-filtration). Pour une période d'un an, on a mesuré une consommation totale de 315,360 kW, ce qui représente environ 1,57 kW/kg de moulée.

*Seconde mission*

Lors de la seconde mission, nous n'avons pu revisiter cette ferme. Nous avons cependant appris que la ferme avait des problèmes de qualité d'eau dus au décrochage du biofiltre. L'entreprise a donc augmenté l'arrivée d'eau neuve pour nettoyer les systèmes. Selon M. Michelsen, le problème a été causé parce que l'inventaire de l'entreprise était alors trop élevé, la température

de l'eau a chuté à l'arrivée de la saison froide, ce qui a entraîné une diminution de l'activité biologique du biofiltre. De plus, le biofiltre était sous-dimensionné.

### *8.3 La ferme Trend Å Dambrug, visitée le 7 octobre 2003 et le 28 janvier 2004*

Cette station piscicole fait partie d'une entreprise propriétaire de plusieurs autres sites terrestres ou en cage flottante. La production totale du groupe serait d'environ 3000 tonnes, soit environ 10 % de toute la production de truite au Danemark. Sur le site visité, l'entreprise réalise une production de 200 à 220 tonnes par année. Une partie de la ferme comporte de nouvelles installations en recirculation partielle conçues par M. Michelsen. Cette station piscicole fait partie du programme des fermes modèles (type 3).

#### *Description générale*

- La station visitée produit de la truite arc-en-ciel de 400 à 600 g pour la transformation en filet et aussi des truites de 1 kg qui sont ensuite transférées en cages pour la saison estivale. Elles atteindront alors un poids d'environ 2,5 kg et seront matures. Les œufs et la chair sont alors commercialisés.
- La production sur ce site se fait entièrement dans des raceways de différentes tailles selon le stade de production. À part les nouveaux bassins, tous les raceways sont situés dans deux bâtiments.
- Le débit d'eau neuve disponible dans cette entreprise est de 300 l/sec (1080 m³/h, 4000 gipm), dont 80 l/sec (290 m³/h, 1050 gipm) d'eau souterraine provenant d'un puits jaillissant et le reste en eau de surface provenant de deux cours d'eau. L'eau est utilisée dans un premier temps dans un bâtiment contenant des bassins rectangulaires en béton puis elle est utilisée dans le nouveau système en recirculation récemment construit.
- Le quota actuel de moulée de ce site est de 240 tonnes. La moulée utilisée par cette entreprise provient de Biomar. Le but de l'entreprise est de faire doubler son quota avec le nouveau système en recirculation. Selon l'évaluation de M. Michelsen, la production annuelle deviendrait alors de l'ordre de 500 tonnes.
- Pour les manipulations de poissons, l'entreprise utilise des pompes à poisson fonctionnant avec le principe des pompes à vide. Nous avons remarqué la présence d'une balance à poisson fonctionnant en continu. La marque de cette balance automatisée est « Guld Hammer » et le modèle est « Blue Confort ». Cette dernière fonctionne bien selon l'exploitant.
- L'entreprise compte trois employés plus un intendant sur ce site.

#### *Infrastructure :*

#### *Bâtiment*

- Le bâtiment a une dimension de 24 m x 78 m. Il contient 2 rangées de 35 bassins rectangulaires de 7,5 m x 2 m x 1,5 à 1,25 m de profondeur. Le volume unitaire des bassins est de 20 $m^3$ et le volume total est de 1400 $m^3$. Il y a une recirculation de 50 % du débit circulant dans les bassins.

- À l'intérieur du bâtiment, il y a un système d'oxygénation à l'oxygène pur en créant de l'eau suroxygénée à partir d'un puits de 4 m de profondeur. Également, il y a des diffuseurs d'air à l'entrée des bassins rectangulaires.
- L'eau est recirculée à 50 % dans le plus grand bâtiment des raceways (300 l/sec sont repompés continuellement en tête des bassins, mais sans aucun traitement).

*Plate-forme extérieure (ferme modèle)*

- À la base, ce système de production est similaire à celui de Binderup Mølle. Le système n'est en opération que depuis septembre 2003.
- La nouvelle plate-forme d'élevage est constituée de quatre raceways en béton de 60 m de longueur par 6 m de largeur et 1 m de profondeur utile (figure 14). Chaque raceway est constitué de deux zones d'élevage d'environ 30 m de longueur, à la fin desquels on retrouve une zone de sédimentation de 2 m avec des cônes de sédimentation.
- Les bassins extérieurs sont construits avec des panneaux préfabriqués de béton qui ont été assemblés sur place. Les murs sont relativement minces.
- Le volume utile pour l'élevage est d'environ 1260 $m^3$.
- Le coût total du réaménagement a été de 4 200 000 Kr danoises, soit environ 875 000 $. Ce montant inclut la construction des nouveaux bassins ainsi que plusieurs travaux réalisés sur les anciennes infrastructures.
- Le débit circulant dans ces raceways est de 500 l/sec (1800 $m^3$/h), soit 300 l/sec (1080 $m^3$/h) provenant des anciens raceways et 200 l/sec (720 $m^3$/h) qui sont recirculés à l'intérieur de la nouvelle plate-forme. Le taux de recirculation actuel est donc de seulement 40 % du débit circulant.
- Lorsque les installations seront complétées, il est prévu de faire une seule boucle de recirculation avec les anciens raceways du bâtiment et les nouveaux raceways de la plate-forme, et de ne plus utiliser d'eau de surface. L'apport d'eau neuve ne serait alors que de 80 l/sec(290 $m^3$/h), ce qui représenterait un taux de recirculation d'environ 85% du débit circulant.
- L'entreprise ne fonctionnait toujours pas en recirculation lors de la visite de janvier. Les biofiltres agissaient davantage comme filtre pour retenir les MES que pour réduire la concentration en ammoniac. On pouvait observer une nette amélioration de la qualité de l'eau après son passage dans les filtres. Elle contenait visiblement moins de MES.

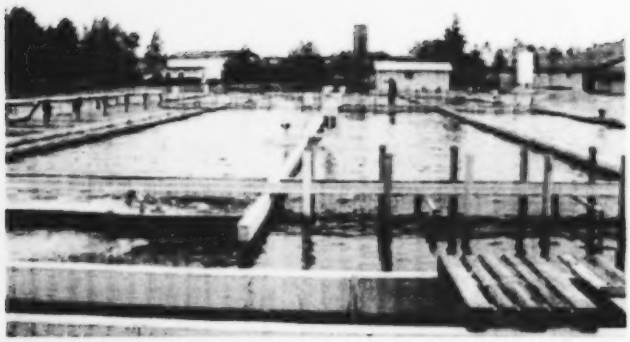

*Figure 14. Vue générale de la nouvelle plate-forme d'élevage de l'entreprise Trend Å.*

- Le taux actuel d'échange d'eau dans chaque zone d'élevage de 30 m est d'environ 10 fois par heure, ce qui semble être la norme dans ces systèmes.
- Les raceways sont sur un même niveau. Le déplacement de l'eau ainsi que l'aération se fait par le même système d'émulsion d'air (« air-lift ») que la ferme précédente. Nous avons observé une concentration en oxygène de 74 % à la sortie d'une zone d'élevage lors de la première visite.
- Selon M. Michelsen, la production est beaucoup plus intensive dans cette pisciculture que dans la précédente. L'inventaire dans les nouveaux raceways serait d'environ 110 tonnes, ce qui donnerait une production supérieure à 200 tonnes, soit la même production que la pisciculture précédente, mais pour un volume presque deux fois moindre. Les densités moyennes d'élevage seraient proches de 90 kg/m$^3$.
- Nous n'avons pas eu d'information, pour ce site, sur la consommation énergétique ni sur les températures d'eau.
- L'alimentation se fait ici aussi par le biais de nourrisseurs à la demande (2 nourrisseurs par section de 30 m). Le taux de conversion sur la plate-forme est de 0,7 selon M. Michelsen.
- Il n'y a pas non plus de bassins réservés au conditionnement du poisson avant l'abattage.
- Lors de la seconde visite en janvier, la température de l'eau d'élevage était à 4,1°C et le pH à 7,1.

*Traitement de l'eau*

- Les raceways sont équipés de cônes de sédimentation similaires à ceux de Binderup Mølle pour la collecte des détritus. Chaque section est équipée de douze cônes de sédimentation de 1 m$^2$ après chaque zone d'élevage de 30 m. Les cônes sont construits en acier inoxydable alors qu'ils étaient en béton dans la ferme précédente. L'autre

différence est qu'ils sont fermés par des tuyaux de trop-plein plutôt que par des bouchons lestés.

- Les cônes sont vidangés une fois par semaine. M. Michelsen recommande cependant une vidange de 2 –3 fois par semaine.
- Le système de vidange des cônes est aussi le même. Les boues sont amenées vers un puits humide (figure 15) d'où elles sont pompées vers un marais filtrant.
- La différence principale entre cette ferme et Binderup Mølle est le système de traitement après le dernier raceway d'élevage. Il n'y a pas de filtre à tambour rotatif, et le biofiltre est installé dans la dernière section d'un raceway plutôt que dans un bassin à part (figure 14, du côté gauche). Le biofiltre couvre la moitié du dernier raceway. Contrairement à Binderup Mølle, une partie du biofiltre est immobile, ce qui permet de capter les fines particules en suspension. Le biofiltre n'était pas encore pleinement fonctionnel lors de notre visite en octobre mais les travaux étaient complétés lors de notre seconde visite en janvier.

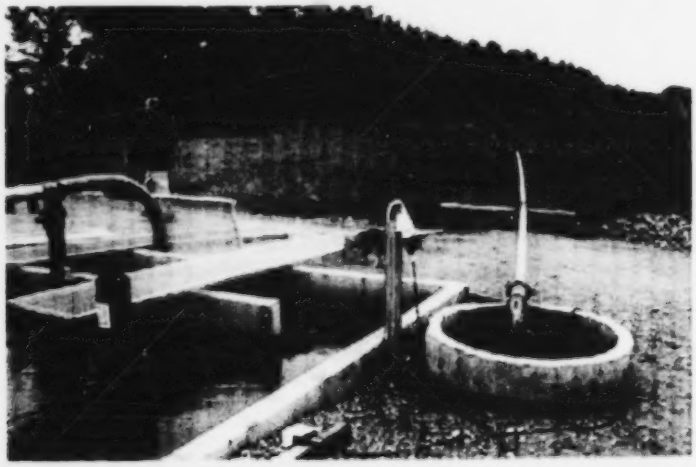

*Figure 15. Puits de repompage des boues vers le marais filtrant*

- Le biofiltre est du type submergé à lit fixe. Il est séparé en 11 sections d'environ 2,5 m de longueur par 4 m de largeur (figure 16). La figure 17 montre une section du biofiltre à la construction.

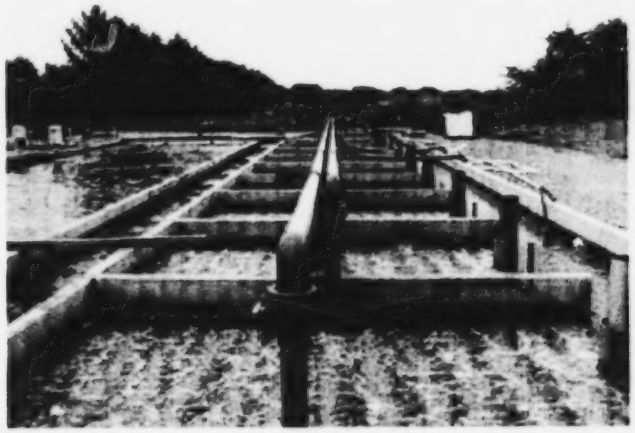

*Figure 16. Biofiltre de type submergé à lit fixe*

- Chaque section du biofiltre est constituée de plusieurs rangées horizontales délimitées par des grillages (figure 18). Des modules « Kaldnes » remplissent l'espace entre chaque grillage.
- Lorsque l'eau sort de la dernière zone d'élevage, elle passe dans un canal derrière le biofiltre (à gauche sur la figure 16). Ce canal sert aussi de canal de diversion lors des traitements.
- L'eau pénètre dans le biofiltre par le dessous par un tuyau, passe verticalement dans le biofiltre et ressort par le dessus dans un nouveau canal qui la ramène vers le premier raceway.
- Le biofiltre est continuellement oxygéné par injection d'air par le fond.
- Le biofiltre sert aussi à filtrer les particules. Il permettrait de retenir les particules jusqu'à 5 µm.
- Il faut 1,5 journées par semaine pour nettoyer les biofiltres.
- Les boues sont acheminées dans un bassin de terre et le surnageant des boues est dirigé vers un marais filtrant.
- L'entreprise a une batterie de quatre compresseurs prévus tant pour la sécurité que pour le nettoyage des filtres. Lors de la visite, le compresseur en service utilise une puissance de 20 kW sur une capacité de 40 kW. La tension électrique est de 400 volts et la consommation électrique de 35 ampères. La pression au compresseur est de 0,4 bars.
- Pour le nettoyage des biofiltres, l'entreprise utilise un compresseur entraîné par un tracteur de ferme. Cela évite de générer de façon ponctuelle un appel en puissance élevée qui augmenterait la facture énergétique de l'entreprise.
- Le deuxième compresseur électrique a une puissance 15 kW et il fonctionne à deux vitesses. Le troisième compresseur est entraîné par un moteur à combustion au diesel.

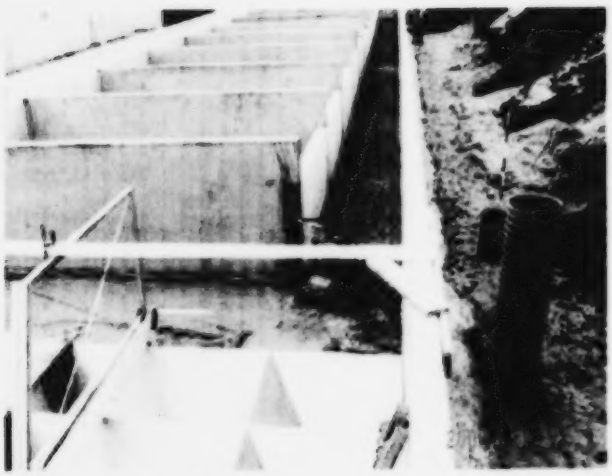

*Figure 17. Biofiltre à la construction*

- Pour éviter tout colmatage, le biofiltre est nettoyé à chaque jour par injection d'un fort débit d'air. Le débit d'air normal est arrêté et un débit d'air beaucoup plus puissant est envoyé par une autre conduite. Ceci produit un fort brassage qui déloge les particules logées dans les modules. On n'a pas de données sur l'efficacité à long terme de ce système.
- Comme dans le cas précédent, le biofiltre n'a pas été inoculé avant sa mise en fonction.

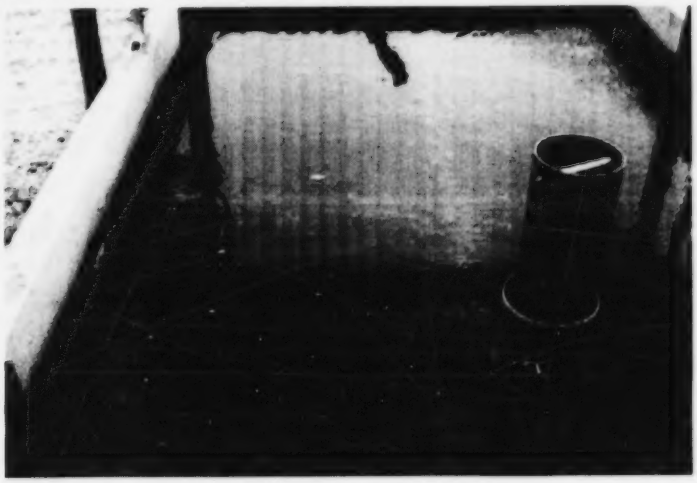

*Figure 18. Section de biofiltre à l'arrêt*

### *8.4 La ferme Dostrup Dambrug, visitée le 7 octobre 2003*

#### *Description générale*

- Cette ferme, de taille moyenne à l'échelle danoise, a fait l'objet d'un projet expérimental de grande envergure qui s'est étalé de 1997 à 2002. Elle a été sélectionnée à cause des impacts environnementaux majeurs qu'elle causait depuis plusieurs années.
- Elle a été complètement reconstruite en 1998. On a remplacé les étangs traditionnels par des raceways en béton dans lesquels l'eau est partiellement recirculée. On y a aussi installé un système de traitement des effluents par un marais filtrant.
- À cette reconstruction, on a ajouté un programme très poussé de monitoring des effluents, sous la responsabilité du « National Environmental Research Institute ». Celui-ci sera présenté plus loin.
- Le coût total de ce projet a été de 12 millions de couronnes danoises (environ 2,5 millions $), financé à 50 % par l'état danois et à 50 % par l'Union européenne. La reconstruction de la pisciculture a drainé 25 % des fonds et le reste est allé au programme de monitoring.
- Le but de tout le projet était de réduire l'impact environnemental de cette ferme, de fournir des données statistiquement valables sur différents paramètres des effluents piscicoles et sur l'efficacité de différents moyens de traitement, tout en développant un modèle de ferme rentable et efficace.
- La production annuelle de cette ferme était de 130 tonnes de truites arc-en-ciel. Le ministère de l'Environnement a réduit le quota de moulée à 50 tonnes par année lors de la reconstruction, pour l'augmenter à 74 tonnes en juin 2001, ce qui correspond à une production annuelle de 90 tonnes.
- Entre 2000 et 2002, le taux de conversion a varié entre 0,81 et 0,89.
- Le débit d'eau circulant est d'environ 500 l/sec (1800 m³/h, 6600 gipm). L'apport d'eau neuve est légèrement supérieur à 100 l/sec (370 m³/h, 1360 gipm) provenant à 75 % d'un ruisseau et à 25 % de la nappe souterraine. Le taux de recirculation est donc de 80 % du débit circulant.

#### *Infrastructures de production*

- Les nouvelles infrastructures de production sont réparties en trois paliers. Le premier palier est constitué de 40 raceways de 7,0 m de longueur par 0,88 m de largeur et 1 m de profondeur pour un volume total de 246 m³. Le deuxième palier est constitué de 20 raceways de 7 × 1,88 × 1 m pour un volume total de 263 m³. Le troisième palier est constitué de 10 raceways de 8 × 3,88 × 0,9 m pour un volume total de 279 m³. Sur chaque palier, les raceways sont en parallèle (figure 19).
- Cependant, à cause de la limitation de production imposée par le ministère de l'Environnement, les raceways n'ont pas tous été utilisés pendant le projet, soit 26 sur le premier palier, 14 sur le second et 7 sur le troisième palier pour un volume total utilisé de 561 m³.

- À la fin de chaque raceway, on retrouve une section de 1,0 m pour la sédimentation où les poissons n'ont pas accès. Le volume total utile pour l'élevage est de 466 m³.

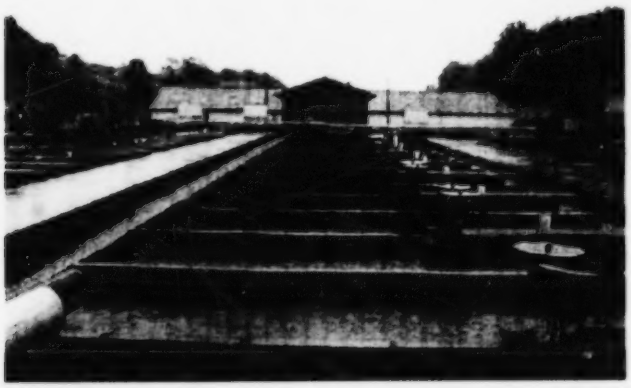

*Figure 19 : Vue générale de l'entreprise Døstrup*

- Le débit d'eau circulant sur chaque palier est d'environ 600 m³/h. Environ 40 % du débit est recirculé à chaque palier, et le reste, équivalent à l'apport d'eau neuve de 370 m³/h, passe d'un palier à l'autre. Le taux de recirculation annoncé de 80 % est donc calculé sur le débit total circulant dans la station piscicole et non sur le débit circulant à chaque palier.
- Le débit d'eau neuve étant de 370 m³/h et le volume des bassins utilisés de 561 m³, il y a un renouvellement d'eau à chaque 1,5 heure environ dans la pisciculture au complet.
- Dans chaque bassin, le taux d'échange d'eau est d'environ 3,7 fois par heure dans les deux premiers paliers et de 2,8 fois par heure dans le troisième palier. Celui-ci est nettement inférieur aux deux autres fermes visitées et plus semblable à ce qu'on rencontre en Amérique du nord.
- Comme dans les autres fermes, l'alimentation se faisait avec des nourrisseurs à la demande.

*Traitement de l'eau*

- Comme dans les fermes précédentes, le premier système de traitement est constitué de cônes de sédimentation de 1 m² en partie aval de chaque raceway. On retrouve un cône par raceway du premier palier, deux cônes dans ceux du deuxième palier et quatre cônes dans chaque bassin du troisième palier. Cependant, il n'y a ici qu'une seule rangée de cônes au lieu de deux dans les autres fermes. Après les nettoyages, les boues sont dirigées dans un puits commun de pompage d'où elles sont pompées dans un des trois bassins d'accumulation en béton.
- Toute l'eau qui sort du troisième palier est envoyée dans un bassin de sédimentation en béton de 283 m³ (28,3 × 10 × 1 m). Le temps de rétention de l'eau est d'environ 45 minutes. Ce bassin est nettoyé à l'occasion et les boues sont pompées dans un bassin de rétention parallèle aux trois bassins contenant les boues des cônes de sédimentation.

- Les surnageants de ces quatre bassins d'accumulation de boues sont retournés dans le bassin de sédimentation.
- Après le bassin de sédimentation vient un système de marais filtrant de plus de 5200 m². Le marais est divisé en trois sections différentes, chacune prenant le tiers du débit. Les plantes utilisées sont le cresson de fontaine et la lentille d'eau (figure 20).

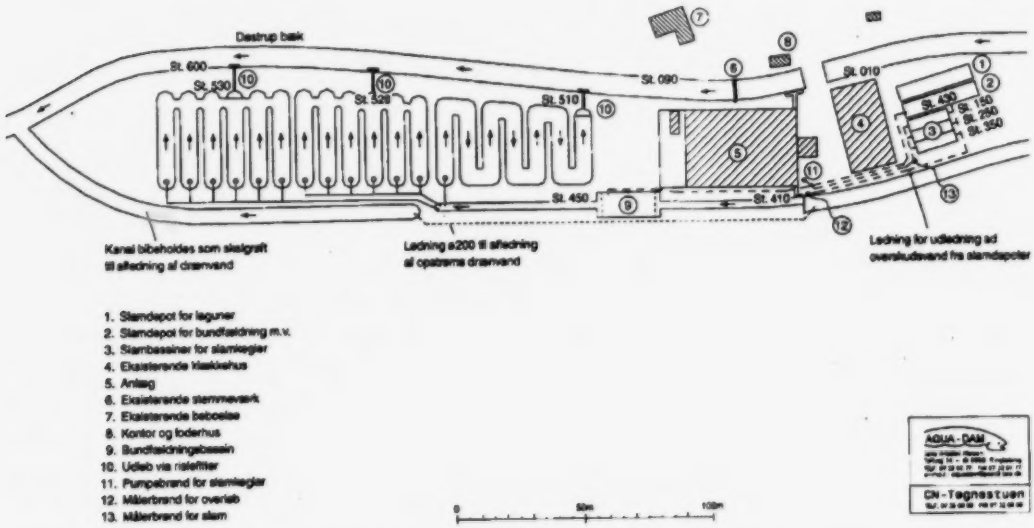


*Figure 20. Plan du système de marais filtrant à la ferme Dostrup Damburg*

- La première section du marais est constituée de sept bassins en série de 32,5 × 7,2 × 0,56 m pour un volume total de 917 m³. Le temps de résidence de l'eau y est de 7,5 heures. La figure 21 présente un des bassins de cette section.
- La deuxième section est constituée de six bassins en parallèle de 36,5 × 7,9 × 0,7 m pour un volume total de 1200 m³. Le temps de résidence de l'eau y est d'environ 10 heures.
- La dernière section du marais filtrant est constituée de six bassins en parallèle de 39 × 8 × 0,73 m pour un volume total de près de 1400 m³. Le temps de résidence de l'eau y est d'environ 12 heures.
- Chaque marais filtrant se déverse directement dans le ruisseau récepteur après une chute pour réoxygéner l'eau.
- Il n'y a donc aucun filtre mécanique ni biofiltre dans cette ferme. Il y avait cependant un projet expérimental à petite échelle mené par l'Université d'Aalborg où l'on testait, sur deux raceways dans un circuit fermé à part, différentes combinaisons de filtre.

*Figure 21. Bassin de la première section de marais filtrant*

### *Programme de monitoring environnemental*

- La mise en place d'un programme étendu et intensif de monitoring environnemental était une des conditions du ministère de l'Environnement pour autoriser la réouverture de cette ferme. Ce programme était sous la responsabilité du Dr. Lars Svendsen du « National Environmental Research Institute ». Nous l'avons rencontré après notre visite de l'entreprise et il nous a présenté les grandes lignes de ce programme.
- Les objectifs principaux du programme étaient de vérifier la conformité des rejets aux exigences légales, de quantifier avec une haute précision statistique les rejets en nutriments, matières organiques et matières en suspension, et finalement d'évaluer l'efficacité des équipements de traitement, soit les cônes de sédimentation, le bassin de sédimentation et les marais filtrants. Ce dernier point était important puisque le principal problème pour l'acceptation des projets par le ministère de l'Environnement était le manque de données sur l'efficacité des différents systèmes de traitement.
- Ce programme a duré deux ans, d'avril 2000 à avril 2002. Il y avait au total 29 points d'échantillonnage ou de mesure dans l'entreprise ou dans le cours d'eau. Le suivi se faisait sur plusieurs paramètres chimiques, les débits, la couverture et la biomasse de plantes dans les marais filtrants, la diversité de la faune dans le cours d'eau, ainsi que les paramètres climatiques. Plusieurs paramètres étaient enregistrés en continu ($O_2$, température, niveaux d'eau), alors que les autres échantillonnages étaient répétés plusieurs fois par semaine ou par mois.
- Un rapport sur tout le projet est disponible, en danois, sur Internet à l'adresse : http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR434.pdf
- Les données d'efficacité des différents équipements de traitement sont un peu difficiles à interpréter parce que l'eau de surface utilisée dans la production était déjà assez chargée en matières en suspension, en matières organiques et en azote total. Il est à noter que l'eau ressort de la ferme moins chargée en MES qu'à l'entrée, et ceci est surtout lié à l'efficacité des cônes de sédimentation. Ceux-ci ont en effet enlevé l'équivalent de

170 % des MES produites par les poissons, mais aussi environ 30 % de la $DBO_5$ et du phosphore provenant de la production.

- Le bassin de sédimentation a démontré une efficacité assez limitée pour enlever le phosphore, l'azote et la $DBO_5$ (4 à 8 %). La situation aurait pu être différente selon M. Lars Svendsen, s'il n'y avait pas eu les cônes de sédimentation en amont.
- Cette étude a montré enfin que les marais filtrants étaient efficaces pour l'enlèvement de l'azote (environ 70 %), de la $DBO_5$ (~ 45 %) et du phosphore (~ 30 %), lorsqu'on calculait les efficacités par rapport aux rejets de la production de poissons. Ces valeurs auraient pu être améliorées si les marais avaient été mieux gérés, par exemple si les plantes avaient été récoltées périodiquement. Il est intéressant de noter que la biomasse de plantes (en particulier pour le cresson) chutait dramatiquement pendant environ cinq mois en hiver, mais qu'on observait de l'enlèvement de l'azote à peu près pour tous les mois de l'année, tandis que l'enlèvement du phosphore était négatif pendant environ trois mois. On a aussi remarqué que le premier système de marais filtrant (bassins en série plutôt qu'en parallèle) était plus efficace même si le temps de résidence y était plus court.
- Globalement sur une période de deux ans, le système complet a enlevé 100 % des MES produites par les poissons, 85 % de la $DBO_5$ et de l'azote total, et 65 % du phosphore.
- Les rejets en phosphore de cette pisciculture ont été évalués à 2 kg de phosphore par tonne de production. Ceci est dans la moyenne des pisciculture danoises. Cependant, cette valeur aurait pu être très inférieure, n'eut été de la problématique de l'approvisionnement en eau de surface déjà chargée en MES et des problèmes de moulées trop riches en phosphore la première année.
- Cette étude très détaillée a permis de jeter les bases pour élaborer le programme des fermes modèles qui sera officiellement implanté à compter de 2004.

### *8.5 La ferme Tykskov Dambrug, visitée le 27 janvier 2004*

Cette station piscicole a une capacité de production de 250 tonnes/an et elle peut utiliser 220 tonnes de moulée par année. Cette entreprise construite en 1970, fonctionne en recirculation depuis 1990 mais ne fait pas partie du projet de ferme modèle. La conception du circuit fermé n'a pas été faite par M. Michelsen.

- L'entreprise a un approvisionnement en eau d'origine souterraine et durant l'été, elle utilise un débit additionnel en provenance de la rivière située à proximité. Le débit d'eau d'origine souterraine est de 10 l/sec ou 36 $m^3$/h. Durant l'été, le débit additionnel en provenance de la rivière est également de 10 l/sec ou 36 $m^3$/h. Auparavant, l'entreprise fonctionnait en circuit ouvert en utilisant uniquement l'eau de la rivière. La qualité de l'eau du puits est :

  Température = 8°C
  pH = 6,8
  Fer = 2 à 4 mg/l

- L'eau nouvelle subit un traitement avant d'être utilisée dans la station piscicole afin de réduire la concentration en fer. La chaîne de traitement que subit l'eau est :

a) oxygénation de l'eau par une colonne d'oxygénation avec des modules de type Bio-Block®,

b) introduction de chaux agricole pour favoriser la précipitation du fer,

c) agitation de l'eau dans une section du bassin pour assurer un bon mélange de la chaux à l'eau,

d) sédimentation dans un bassin dont les dimensions sont d'environ 4 m x 3 m x 1,2 ou 1,5 m,

e) l'eau est par la suite amenée dans un autre bassin où elle passe au travers un lit de média de type « Kaldnes » selon un déplacement descendant, cette filtration favorise une activité bactérienne réductrice de la concentration en fer,

f) l'eau est acheminée dans le système de production à une concentration de 0,5 mg/l.

L'ajout de la chaux favorise une augmentation de pH de 6,8 à 7,4. Le système est nettoyé deux fois par année en faisant attention de laisser un peu de saleté afin de maintenir les souches de bactéries utiles à la réduction du fer dans l'eau.

- Les unités de production de la station piscicole sont composés de 70 bassins circulaires de 6 m de diamètre et une profondeur variant du côté vers le centre de 2,0 à 1,5 m. Le volume unitaire des bassins est de 48 $m^3$ pour un total de 3360 $m^3$. Il y avait aussi des bassins rectangulaires, soit pour les activités de calibrage ou pour préparer ou conditionner les poissons avant la vente. Ces bassins, au nombre de 5, ont des dimensions approximatives de 5 m x 2,4 m et 1,5 m de profond pour un volume unitaire de 18 $m^3$ et 90 $m^3$ au total. Le volume total de contention de la station piscicole serait de 3450 $m^3$.
- L'inventaire habituel de la station piscicole est de 100 à 110 tonnes pour une production de 250 tonnes. L'entassement moyen est de 32 $kg/m^3$. Lors de la visite, l'inventaire n'était que de 50 tonnes, l'entreprise ayant subi des pertes à cause d'un parasite qui s'est développé dans la station. Lors de notre visite, on effectuait un traitement à la formaline. Le dosage est de 10 litres de formol à 37 % par bassin, cela équivaut à une concentration de 77 mg/l. La durée du traitement est de 3 heures en situation d'eau stagnante.

*Figure 22. Station piscicole Tykskov Dambrug. On voit les bassins circulaires d'élevage à droite et l'unité surélevée de traitement des eaux à gauche*

*Le système de recirculation*

- Le débit d'eau circulant dans les bassins est de 800 l/sec ou 2880 $m^3$/h. Il en résulte un temps de séjour de l'eau dans les bassins de contention de 1,20 heures. On a noté que la vitesse de l'eau était pratiquement inexistante dans les bassins. L'entrée d'eau ne favorisait aucun mouvement circulaire.
- L'eau sortant des bassins est dirigée vers trois filtres à tambour de 1,5 m de diamètre par 3 m de long. Le débit spécifique de filtration est de 68 $m^3/h/m^2$ de surface filtrante.
- Puis, l'eau est relevée sur une hauteur d'environ 2 m par des pompes de type axial (à hélices) dans un canal central de distribution vers deux ensembles de 10 biofiltres.
- Les biofiltres ont 4 m de long x 1,5 m de large x 1,0 m de profond. Les biofiltres sont constitués de billes ou particules d'argile et le déplacement d'eau est descendant. Le débit spécifique dans les biofiltres serait de 24 $m^3/h/m^2$ de surface de biofiltre.
- À la sortie des biofiltres, l'eau s'écoule à gravité vers des dégazeurs de type Bio-Block®, lesquels longent les bassins des biofiltres. Ils ont une longueur de près de 15 m sur une largeur de 0,6 m. Le débit spécifique serait de 160 $m^3/h/m^2$.
- L'eau s'écoule par gravité vers les bassins.

*L'oxygénation*

- L'eau sort des bassins de production saturée à 70 % en oxygène. En plus des colonnes d'oxygénation Bio-Block®, il y a un apport additionnel d'oxygénation par un système de sursaturation d'une partie du débit circulant. Le débit d'eau suroxygénée est de 50 l/sec ou 180 $m^3$/h à une concentration de près 110 %. Les sursaturateurs fonctionnent à une pression de 0,7 bars (10 psig) et ils ont une hauteur de près de 0,6 m.

*Les boues*

- Les eaux d'auto-lavage des filtres à tambour sont acheminées par pompage vers deux bassins d'accumulation de près de 35 $m^3$ (9 m x 2,5 m x 1,5 m). Les MES s'accumulent dans ces bassins par sédimentation. Le surnageant d'eau est acheminé vers un étang ou un marais filtrant avec le débit principal de la station piscicole. L'eau du marais retourne vers la rivière.

*Autres points*

- La consommation électrique de la station piscicole est de 2,25 kWh/kg de poisson.
- La main-d'œuvre nécessaire au fonctionnement de cette ferme est de 1,5 personne-année.
- Les poissons sont achetés à une taille de 4 g et vendus à une taille de 350 grammes. L'entreprise achète 1 000 000 d'alevins par année.
- Le principal client de l'entreprise est Hevico, l'entreprise de fumage de truite mentionnée ci-haut.
- Des filets antiprédateurs recouvrent l'ensemble du terrain occupé par les bassins et il est entouré d'une clôture.

### *8.6 La ferme Fundelholme Dambrug, visitée le 27 janvier 2004*

Cette station piscicole a cinq unités de production. Les quatre premières fonctionnent en recirculation avec des approvisionnements en eau souterraine alors que la dernière est en étang extérieur et utilise l'eau de la rivière. La production de cette entreprise serait approximativement de 300 à 350 tonnes par année. L'entreprise a trois employés pour réaliser les activités piscicoles.

*Le bâtiment du haut*

- Le bâtiment du haut est approvisionné en eau souterraine avec un débit de 2 l/sec ou 7,2 $m^3$/h dont la température est à 8 °C. Il contient trois unités de production indépendantes, soit une salle pour l'incubation et le début de l'alimentation, une autre pour l'alevinage et le début de l'engraissement et une troisième pour l'engraissement.
- Des auges sont utilisées dans la salle d'incubation et d'alevinage. Elles sont placées en trois paliers. C'est une section fonctionnant en recirculation. L'eau à la sortie des auges est acheminée vers un biofiltre utilisant des médias de type « Kaldnes » et des billes d'argile. L'eau à la sortie du biofiltre passe par un dégazeur de type Bio-Block® puis elle est repompée dans les bassins de production. L'eau était plutôt brune.
- La salle d'alevinage est composée de 8 bassins de 3 $m^3$ pour un total de 24 $m^3$. Chaque bassin peut accueillir près de 200 000 alevins de 0 à 1,5 grammes. La charge maximale de chaque bassin est de 300 kg de poissons. Les bassins bénéficient de 7 changements d'eau par heure, cela équivaut à un débit de reciculation de 168 $m^3$/h. Le traitement de l'eau est uniquement fait par un biofiltre constitué de billes d'argile. Il y a ajout de chaux et de sel dans l'eau recirculée. Ils visent à maintenir une concentration de 0,2 % de sel. Elle peut parfois monter jusqu'à 0,9 %. L'entreprise utilise près de 40 tonnes de sel. À la sortie du biofiltre, l'eau est relevée par une pompe à émulsion d'air sur une

hauteur de près de 30 cm afin de l'acheminer dans un canal de distribution aux 8 raceways. Cette unité est munie d'un système de production d'eau suroxygénée qui est cependant peu utilisé.

- La salle d'engraissement du bâtiment du haut est constituée de 16 bassins de type raceway aux dimensions de 15 m x 2,4 m x 1,0 m. Le volume unitaire est de 35 $m^3$ et le volume total est de 560 $m^3$. Dans cette salle d'engraissement, la taille des poissons varient de 1,5 à 400 g. Le charge habituelle est de 100 $kg/m^3$ et elle peut atteindre près de 150 $kg/m^3$. Les bassins sont placés de chaque côté d'une allée centrale avec 6 bassins d'un côté et 10 bassins de l'autre. Le débit d'eau nouvelle entrant dans cette unité est de 1 l/sec ou 3,6 $m^3/h$. Le taux de renouvellement d'eau des bassins varie de 3 à 4 changements par heure pour le côté de 10 bassins (388 l/sec ou 1400 $m^3/h$) et de près de 5 changements d'eau par heure pour le côté de 6 bassins (290 l/sec ou 1050 $m^3/h$). L'eau à la sortie des raceways est dirigée vers des biofiltres constitués de billes d'argile (il ne semble pas y avoir de zone de sédimentation ou de récupération des MES avant les biofiltres). Pour le côté de 10 bassins, il y a 5 ou 6 lits de biofiltration ayant des dimensions similaires aux bassins de production. L'écoulement d'eau dans les biofiltres est probablement descendant, le débit spécifique serait d'environ 7 à 8 $m^3/h/m^2$ de surface de biofiltre. Ces biofiltres sont munis de drains qu'ils ouvrent régulièrement pour faire sortir des matières solides. Durant ces nettoyages, un jet d'air est envoyé sous les biofiltres afin d'aider à déloger les matières solides du biofiltre. Durant cette opération, il est possible d'isoler le biofiltre du circuit d'eau régulier. À la sortie des biofiltres, l'eau s'écoule par gravité vers un canal le long du mur où elle est relevée par des pompes à émulsion d'air (« air-lift ») sur une hauteur approximative de 30 à 35 cm dans un canal de distribution en tête des raceways. Le mur extérieur de ce canal de distribution sert également à supporter le mur du bâtiment. Des sursaturateurs d'eau en oxygène étaient également utilisés pour compléter la demande en oxygène des poissons. De la chaux et du sel sont également utilisés dans cette partie de la station piscicole.

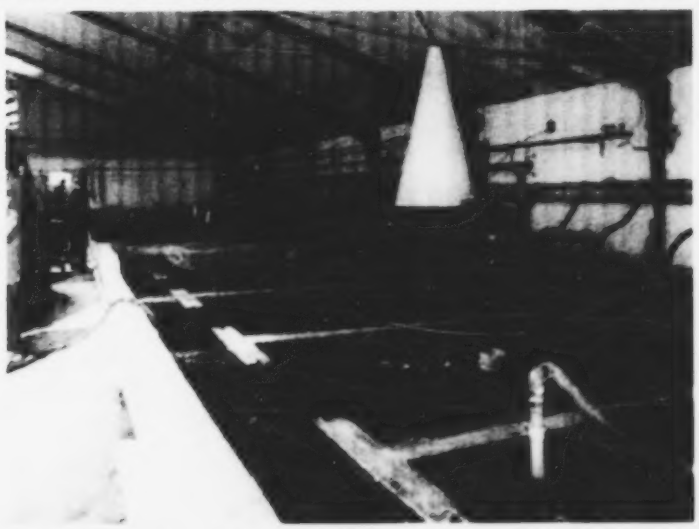

*Figure 23. Un des bâtiments d'élevage à Fundeholme Dambrug*

*Le bâtiment du bas*

- Les dimensions de ce bâtiment sont de 60 m x 30 m. Il contient 9 raceways de 25 x 4 m x 1,3 m. Le volume unitaire est de 130 $m^3$ et le volume total est de 1170 $m^3$.
- Le débit d'eau nouvelle est de 2 à 3 l/sec ou 7,2 à 10,8 $m^3$/h. d'origine souterraine à une température de 8 °C. Le débit d'eau recirculée est de 1500 l/sec ou 5400 $m^3$/h. Cela équivaut à 4,6 renouvellements d'eau par heure dans les bassins de contention des poissons.
- L'entassement peut atteindre près de 100 kg/$m^3$ et l'inventaire serait de 100 tonnes. La production annuelle de ce bâtiment serait de 200 tonnes. Il est à noter que toute la production dépend d'un seul système, les pertes en cas de problèmes risquent d'être plus importantes. Dans ce bâtiment, l'entreprise n'est pas assujettie à un quota de moulée car l'eau à la sortie est utilisée pour l'irrigation. La ration journalière est de 500 kg de moulée. Des nourrisseurs à la demande sont installés à la fin de chaque bassin raceway.
- À la sortie des raceways, l'eau est récupérée par un canal dont la section s'agrandit de l'amont vers l'aval. Le critère de design de ce canal est de maintenir une vitesse d'écoulement d'eau de 50 cm/sec.
- Ce canal dirige l'eau vers une zone de sédimentation de grande dimension. Il devait avoir près de 20 m de large sur près de 10 m de long. À ces dimensions, le débit spécifique de sédimentation est de 27 $m^3$/h/$m^2$ de surface du sédimenteur. On a noté la présence de poissons d'assez grande taille dans le bassin de sédimentation. Ces poissons sont probablement là suite à des échappés lors des manipulations dans les bassins de contention. Il apparaît difficile de récupérer ces poissons. Ils peuvent, par leur activité natatoire, avoir un effet négatif sur la sédimentation.
- À la sortie du sédimenteur, il y a 4 ou 5 cellules de biofiltration constituées de billes d'argile. Le déplacement d'eau dans le biofiltre semble descendant. Chaque cellule aurait des dimensions d'environ 4 m x 15 m x 1,2 m d'épaisseur. Le débit spécifique pourrait être de 18 $m^3$/h/$m^2$ de surface de biofiltre.
- À la sortie des biofiltres, une partie de l'eau est soulevée par trois pompes à hélices dans des dégazeurs de type Bio-Block®. L'eau est relevée et retournée dans le canal d'amenée d'eau aux bassins par des pompes à émulsion d'air (« air-lift »).
- À l'extérieur du bâtiment, il y a un bassin en terre pour l'accumulation des boues.

*Les étangs extérieurs.*

- Les étangs extérieurs sont approvisionnés en eau à partir de la rivière. Ils sont principalement utilisés pour finir le poisson sortant des systèmes en recirculation. La durée de séjour des poissons dans les étangs est d'environ 1 mois. L'entreprise a un quota de moulée de 47 tonnes pour la production dans ces étangs.

### *8.7 La ferme Oxfeld Dambrug, visitée le 28 janvier 2004*

Le propriétaire de cette ferme est Preben Patersen. Les premières installations de cette entreprise datent de 30-40 ans. Nous avons visité la partie la plus récente qui sert à la production des œufs et des fretins d'une taille de 25 g. Les poissons sont dans l'unité

d'incubation et d'alevinage pour une durée d'environ 8 semaines, soit de l'œuf jusqu'à la taille de 5 g. Par la suite, ils sont engraissés jusqu'à une taille de 25 g dans les étangs extérieurs. L'entreprise démarre à chaque année 4 cohortes de 400 000 œufs.

- Les installations d'incubation et d'alevinage occupent une section isolée d'un grand bâtiment. Durant l'hiver, une petite chaufferette électrique maintient une température de près de 12 ou 14 °C.
- L'incubation et le début de l'alimentation se font dans 4 auges conventionnelles en acier inoxydable. Par la suite, l'engraissement se poursuit jusqu'à une taille de 5 grammes dans ce local dans 11 petits viviers rectangulaires de 4 m x 0,6 m x 1 m. Le volume unitaire est de 2,4 $m^3$ et le volume total est de 26,4 $m^3$. L'inventaire maximum dans les bassins est de 1500 kg, soit un entassement de 57 $kg/m^3$. La ration alimentaire maximale et journalière est de 18 kg/j et de 30 kg/j pour l'ensemble de la station piscicole à 14 °C. Le taux de conversion alimentaire est de 0,42 kg de moulée par kg de poissons produits.
- Le débit d'eau circulant dans cette unité est au maximum de 30 l/sec ou 108 $m^3/h$. Cela équivaut à 4 renouvellements d'eau par heure des bassins. L'apport en eau nouvelle d'origine souterraine est de 1 l/min ou 0,06 $m^3/h$. La température de l'eau nouvelle est à 7 °C et celle de l'eau recirculée est maintenue à 14 °C.

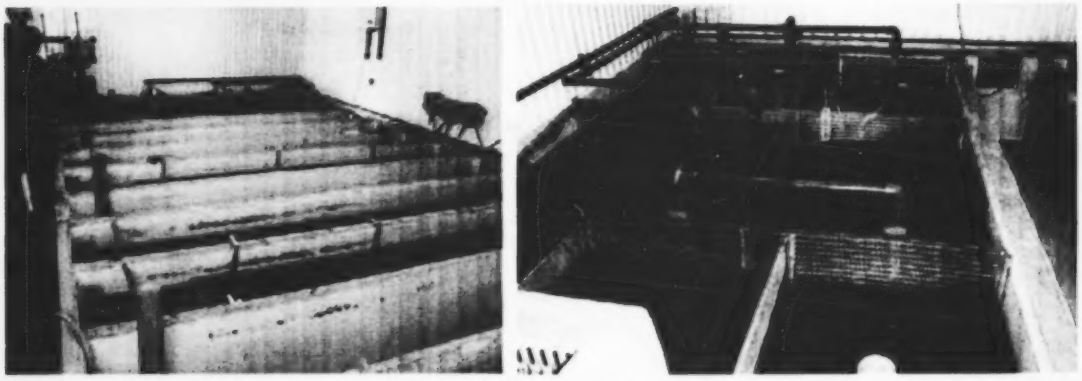

*Figure 24 Installation d'alevinage à la ferme Oxfeld Dambrug. On voit sur la photo de gauche les unités d'élevage occupées par des auges contenant des œufs. La photo de droite montre le système de traitement d'eau*

- Le traitement de l'eau recirculée comprend un bassin de sédimentation dans lequel il y a des blocs de tubes Bio-Block®. Le bassin est séparé en 3 compartiments d'une profondeur de 2 m. Par la suite, l'eau s'écoule vers le biofiltre au centre du bassin au travers d'un lit de médias « Kaldnes » maintenus en agitation par des jets d'air. Ensuite, l'eau traverse une deuxième zone de sédimentation identique à la première. Elle est reprise par une pompe à émulsion d'air (« air-lift ») vers le canal de distribution d'eau aux bassins. Dans ce canal, il y a des tubes UV. La récolte des sédiments se fait par aspiration en utilisant une petite pompe. Une fois par année, les zones de sédimentation sont nettoyées complètement.

- L'oxygénation est faite avec de l'aération par diffusion d'air. L'objectif est de maintenir une concentration à la sortie de 70 % de la saturation.
- Également dans cette station piscicole, le sel est utilisé et l'objectif est de maintenir une concentration de 0,2 %. L'entreprise est aux prises à l'occasion avec un problème de santé. La maladie est appelée syndrome du poisson mort (Y.D.S.). Cette dernière causerait un problème au niveau de l'estomac des poissons.
- L'entreprise avait un système expérimental de recirculation d'eau à l'extérieur avec des équipements assez particuliers. Lors de notre visite, il n'était pas opéré à cause d'un accident survenu il y a quelque temps. Le système comprenait des étangs et des bassins de production, un filtre à tambour, une pompe axiale (à hélice), un biofiltre, un système d'oxygénation/dégazage et un retour d'eau. Les eaux d'auto-nettoyage des filtres à tambour étaient pompées vers un bassin de sédimentation et un bassin de dénitrification beaucoup plus grand ayant des agitateurs d'eau. Ces bassins étaient munis d'équipements de décantation.

*Discussions avec le propriétaire*

- L'entreprise possède d'autres sites piscicoles et sa production est de l'ordre de 500 tonnes par année sur 4 fermes. Il a 10 employés.
- Le coût de production au Danemark varie de 12 à 14 Kr/kg soit 2,71 à 3,17 $/kg. Le prix de vente se situe en moyenne à 13 Kr/kg (2,94 $/kg).
- Le prix de la moulée est de 5,50 Kr/kg (1,24 $/kg) pour une moulée de 5 mm et non pigmentée.
- Le salaire minimum au Danemark est de 90 Kr/h (20,36 $/h).
- Il entrevoit de la difficulté dans le transfert des fermes à cause de la nouvelle réglementation sur l'utilisation de l'eau (réduction de 50 % en 2005). Il s'attend à une réduction de la production au Danemark.

### *8.8 La ferme GL. Råsted Dambrug, visitée 28 janvier 2004*

Cette ferme fonctionne en mode traditionnel, c'est-à-dire avec des étangs et un approvisionnement important d'eau à partir d'une rivière le débit est de 1000 l/sec soit 3600 $m^3$/h. Elle a toutefois entrepris des modifications afin de réduire son approvisionnement en eau. Elle a aménagé 3 étangs d'engraissement fonctionnant en recirculation partielle. La production totale de cette ferme se situerait entre 200 et 300 tonnes. Cette entreprise est également une ferme agricole spécialisée dans la production du bœuf.

- L'ensemble des étangs de la ferme ont des murs en bois sur les côtés.
- Les eaux des bassins traditionnels sont dirigées via des canaux ouverts à un très grand bassin de sédimentation. Ce dernier aurait approximativement 30 m x 30 m. Le débit spécifique par rapport à la surface de l'étang de sédimentation est de 4 $m^3/h/m^2$. À tous les mois, les boues accumulées dans le fond de l'étang sont siphonnées et acheminées vers un marais filtrant sur un terrain plus élevé et adjacent. Pour siphonner les boues, une pompe submersible, probablement près du fond, est suspendue à la structure d'un

radeau et elle peut se déplacer latéralement dans un mouvement de va-et-vient sur toute la longueur du radeau (environ 5 m). Ce dernier est déplacé à la surface de l'étang selon un quadrillage établi en fonction de la longueur du radeau.

- Les dimensions des deux des trois étangs fonctionnant en recirculation sont approximativement de 50 m x 4 m x 1,2 m. Leur volume unitaire serait est de 240 $m^3$. Le troisième étang mesure approximativement 30 m x 4 m x 1,2 m avec un volume unitaire de 140 $m^3$. Le volume total de ces bassins serait 380 $m^3$. Les 2 premiers bassins sont à la même élévation que le troisième plus bas. C'est d'ailleurs par ce dernier que l'eau du système est évacuée.

*Figure 25. Ferme GL. Råsted Dambrug. Les raceways en terre ont des côtés en bois et un système de recirculation partielle pour économiser l'eau*

- Ces étangs sont munis de cônes de récupération des sédiments dans leur partie aval. Il y aurait probablement quatre cônes de 1 m x 1 m. À la sortie du dernier étang, les eaux passent par un filtre à tambour. Les boues de cônes et du filtre à tambour sont acheminées dans une lagune située sur un terrain plus élevé et près du grand bassin de sédimentation. C'est le même marais filtrant qui est utilisée pour recevoir les boues lors du nettoyage du grand bassin de sédimentation.
- La recirculation de l'eau dans les deux étangs du haut est assurée par deux systèmes « air-lift » à l'extrémité amont des étangs. Ces systèmes « air-lift » sont similaires en dimension et en capacité à ceux des fermes modèles.
- Le temps de croissance dans ces étangs serait un mois plus court que dans les autres étangs fonctionnant en mode traditionnel. Cela serait dû à une meilleure concentration en oxygène et à un débit d'eau plus grand.
- Dans une autre partie de la station piscicole, un certain nombre d'étangs sont installés en série et possiblement avec réutilisation d'eau. Ces étangs ou bassins avec mur en bois sont équipés de trappes coniques pour la récupération des sédiments et également de pompes « air-lift » pour le relevage de l'eau et l'oxygénation/dégazage.

- La concentration en phosphore à l'entrée de la station piscicole est de 0,1 mg/l et l'augmentation serait de 0,001 à 0,002 mg/l.
- On retrouve à quelques endroits des aérateurs de surface de type « Paddle Wheel » dans les canaux reliant les étangs entre eux. À un endroit en particulier, il y a une pompe axiale (à hélices) qui relève l'eau et la laisse tomber sur un cylindre troué afin qu'elle soit davantage fractionnée.
- L'entreprise utilise des nourrisseurs à la demande à la sortie des étangs.
- L'ensemble des étangs est recouvert d'abris antiprédateurs réalisés avec des monofilaments et d'une clôture sur tout le pourtour.

## 9.0 Conclusions

### *9.1 L'alimentation et les compagnies de moulée*

- La moulée danoise est soumise à une réglementation sévère qui dicte la composition et la performance des moulées.
- Comme les fermes sont régies par des systèmes de quota, le développement des moulées est orienté vers l'amélioration du taux de conversion. Ainsi, le pisciculteur peut faire plus de poissons avec le même quota.
- Les performances environnementales des moulées, en particulier pour le phosphore, sont fixées par la réglementation. La préoccupation des compagnies de moulées est que leurs produits cadrent avec cette réglementation mais ils n'essaient pas de la surpasser.
- Une bonne gestion de l'alimentation est importante afin d'obtenir un bon taux de conversion alimentaire. Deux compagnies ont insisté sur le fait qu'avec une moulée à haute énergie, la ration permettant d'obtenir le meilleur taux de conversion alimentaire (TCA) correspond à environ 65 – 70 % de la ration permettant d'obtenir la meilleure croissance (varie selon la moulée). Les entreprises nourrissent à environ 75 à 80 % de la ration maximum car ils obtiennent ainsi le meilleur ratio coûts/bénéfices entre la croissance et le TCA. Les rejets environnementaux sont au plus bas lorsque le plus bas TCA est atteint.
- Les compagnies de moulées s'accordent à dire qu'une oxygénation adéquate est essentielle pour obtenir de bons taux de conversion. Cependant, les données à ce sujet divergent selon les fabricants. Selon Aller Aqua, on doit maintenir une concentration en oxygène minimale de 65 % dans l'eau des bassins piscicoles. Toutefois, la concentration minimale en oxygène peut varier selon la taille des poissons. La limite pourrait être de 30 à 40 % pour des poissons de 10 g, 65 % pour ceux de 100 g, et 70 % pour les poissons de 1000 g. Ces valeurs sont affectées par la température. La compagnie Biomar suggère dans le livre qu'elle distribue aux pisciculteurs une concentration minimum de 42 % à 5 °C, 54 % à 10 °C, 70 % à 15 °C et 91 % à 20 °C. La taille des poissons n'est pas spécifiée.

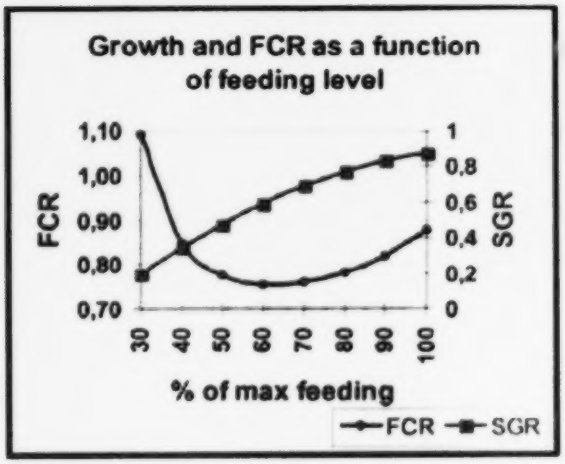


*Figure 26. Relation entre le taux de conversion et la croissance, donnée pour différents taux d'alimentation quotidiens. On peut s'attendre que l'écart entre le meilleur TCA la meilleure croissance augmente avec une moulée très riche en énergie et diminue avec une moulée pauvre en énergie*

- Les compagnies donnent les informations nécessaires pour chaque moulée afin que les pisciculteurs puissent évaluer l'impact environnemental de leur production (figure 27).
- La grosseur de la moulée donnée est souvent inférieure à ce que les pisciculteurs utilisent au Québec pour la même grosseur de poisson.

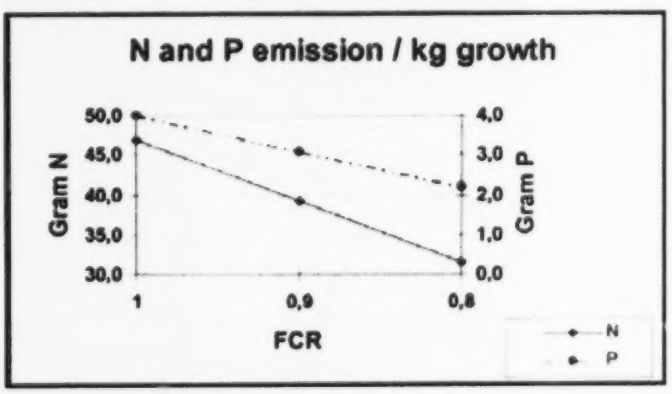


*Figure 27. Graphique permettant de calculer l'impact environnemental d'une moulée donnée*

### *9.2 Les visites d'entreprises piscicoles*

Les visites des entreprises piscicoles nous ont permis de visualiser sur le terrain ce que les Danois ont réalisé depuis 15 ans pour maintenir la production piscicole de leur pays tout en diminuant son impact environnemental, entre autres par :

- l'utilisation de moulées peu polluantes, ayant une faible proportion de phosphore et une quantité d'énergie élevée, ce qui permet de maintenir des taux de conversion moyens d'environ 0,9 pour du poisson de 500 g,
- le développement de systèmes d'élevage permettant d'accroître la croissance, particulièrement en maintenant continuellement des saturations en oxygène supérieures à 70 %,
- l'optimisation de la rétention des fèces avec les cônes de décantation,
- la réduction de la consommation énergétique, particulièrement en diminuant les hauteurs de pompage et en utilisant des systèmes de déplacement d'eau par émulsion d'air,
- la réduction du captage d'eau de surface en adoptant des systèmes en recirculation,
- le traitement de l'eau par micro-tamisage, biofiltration et marais filtrant.

Il ressort clairement de ces visites que la gestion piscicole de ces entreprises est un point important. Les pisciculteurs sont prêts à faire tous les efforts possibles pour augmenter leur productivité malgré le cadre environnemental auquel ils doivent se conformer. Tous les gens rencontrés qui gravitent autour de l'industrie nous ont confirmé l'importance de la gestion.

### *9.3 Projets découlant des missions*

Ces missions généreront éventuellement plusieurs projets qui devraient à plus long terme avoir des retombées positives sur notre industrie. Un projet est déjà amorcé pour l'été 2004 : « L'évaluation de la performance des moulées danoises comparativement à celles disponibles actuellement au Canada ». Le projet est préparé et des demandes d'aide financières ont déjà été soumises. Deux laboratoires et environ dix fermes piscicoles sont impliqués dans le projet.

D'autres sujets sont aussi à l'étude :

1. l'évaluation des performances des systèmes de « air-lift » et des colonnes de dégazage danoises pour l'oxygénation et l'élimination du $CO_2$,
2. l'évaluation de l'efficacité des cônes de sédimentation sous différentes conditions d'utilisation,
3. l'évaluation du gain potentiel de croissance et du taux de conversion par une meilleure circulation de l'eau et par une meilleure oxygénation /dégazage.

En conclusion, nous pouvons affirmer que les deux missions au Danemark ont été très bénéfiques et l'industrie aquacole en eau douce devrait dans un délai relativement court bénéficier des connaissances acquises.

## Annexes

*Annexe 1. Caractéristiques des moulées pour l'engraissement de la truite commercialisées au Danemark par BioMar*

| Produit | Taille (mm) | Protéines (%) | Lipides (%) | Glucides (%) | Fibres (%) | Cendres (%) | Phosphore (%) | Énergie métabol. (MJ/kg) | Rejets P (kg/t prod.) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | Si conv. alim. = 0,8 | Si conv. alim. = 1,0 |
| Bio-Optimal C80 | 3 | 52,0 | 28,0 | 8,0 | 0,3 | 7,5 | 0,9 | 20,5 | | |
| | 4,5 | 50,0 | 30,0 | 7,0 | 0,2 | 7,5 | 0,9 | 20,7 | 2,2 | 4,0 |
| Aqualife 22 | 3 | 44,0 | 25,0 | 15,5 | 1,4 | 7,0 | 0,9 | 18,9 | | |
| | 4,5 | 44,0 | 26,0 | 15,0 | 1,4 | 7,0 | 0,9 | 19,2 | 2,2 | 4,0 |
| | 6 | 40,0 | 32,0 | 14,0 | 1,2 | 6,5 | 0,9 | 20,5 | | |
| Aqualife 23 | 3 | 47,0 | 25,0 | 13,0 | 0,9 | 8,0 | 0,9 | 19,3 | | |
| | 4,5 | 45,0 | 30,0 | 11,0 | 0,6 | 8,0 | 0,9 | 20,5 | 2,2 | 4,0 |
| Ecolife 19 | 3 | 48,0 | 25,0 | 11,0 | 0,5 | 8,0 | 0,9 | 19,2 | | |
| | 4,5 | 47,0 | 26,0 | 11,0 | 0,6 | 7,5 | 0,9 | 19,4 | 2,2 | 4,0 |
| | 6 | 43,0 | 33,0 | 11,0 | 0,5 | 7,5 | 0,9 | 21,2 | | |
| Ecolife 23 | 6 – 8 – 10 | 38,0 | 35,0 | 12,5 | 0,8 | 7,0 | 0,8 | 21,3 | 1,4 | 3,0 |

Note : La moulée Aqualife 22 est celle qui est recommandée par le fabricant pour les poissons destinés à l'ensemencement. Les moulées Ecolife sont spécifiques au marché danois.

*Annexe 2. Caractéristiques des moulées pour l'engraissement de la truite commercialisées au Danemark par Dana Feed*

| Produit | Taille (mm) | Protéines (%) | Lipides (%) | Glucides (%) | Fibres (%) | Cendres (%) | Phosphore (%) | Énergie métabol. (MJ/kg) | Rejets P (kg/t prod.) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | Si conv. alim. = 0,8 | Si conv. alim. = 1,0 |
| Dan-Ex 2446 | 2-3-4-5-7-9-11 | 46,0 | 24,0 | 14,3 | 1,2 | 7,5 | 0,9 | 19,1 | 3,4 | 5,6 |
| Dan-Ex 2844 | 2-3-4-5-7-9 | 44,0 | 28,0 | 14,7 | 1,4 | 7,1 | 0,9 | 20,1 | 3,0 | 5,0 |
| Dan-Ex 3042 | 5-7-9-11 | 42,0 | 30,0 | 12,7 | 1,0 | 8,2 | 1,0 | 20,1 | 3,3 | 5,4 |
| Dan-Ex 3044 | 2-3-4-5 | 44,0 | 30,0 | 11,0 | 1,2 | 8,1 | 0,9 | 20,6 | 2,3 | 4,2 |
| Dan-Ex 3138 | 5-7-9-11 | 38,0 | 31,0 | 16,6 | 1,4 | 7,4 | 0,8 | 20,5 | 3,8 | 5,6 |
| Dan-Ex 3340 | 7-9-11 | 40,0 | 33,0 | 12,4 | 2,6 | 7,0 | 0,9 | 21,2 | 2,4 | 4,3 |

*Annexe 3. Caractéristiques des moulées pour l'engraissement de la truite commercialisées au Danemark par Aller Aqua*

| Produit | Taille | Protéines (%) | Lipides (%) | Glucides (%) | Fibres (%) | Cendres (%) | Phosphore (%) | Énergie digestible (MJ/kg) | Conversion alimentaire attendue | Rejets P (kg/t prod.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Avant | 2 mm | 46,0 | 24,0 | 15,0 | 1,0 | 7,0 | 0,9 | 18,8 | 0,8 | 2,2 |
| | XS-S-M-L | 45,0 | 24,0 | 15,5 | 1,5 | 7,0 | 0,9 | 18,7 | 0,9 | 3,1 |
| 576 | XS | 45,0 | 27,0 | 13,0 | 1,0 | 8,0 | 0,9 | 19,5 | 0,85 | 2,96 |
| | S | 43,0 | 28,0 | 15,0 | 1,0 | 7,5 | 0,9 | 19,8 | 0,9 | 3,37 |
| | M | 42,0 | 30,0 | 14,0 | 1,0 | 7,5 | 0,9 | 20,2 | 1,0 | 4,3 |
| 576-LT | 2 mm | 48,0 | 25,0 | 11,0 | 1,0 | 8,5 | 0,9 | 19,2 | 0,8 | 2,5 |
| Elips | XS | 48,0 | 27,0 | 9,0 | 0,5 | 9,0 | 0,9 | 19,6 | 0,75 | 1,75 |
| | S | 46,0 | 30,0 | 10,0 | 1,0 | 8,0 | 0,9 | 20,5 | 0,8 | 2,2 |
| | M | 44,0 | 31,0 | 11,0 | 1,0 | 8,0 | 0,9 | 20,6 | 0,9 | 3,1 |
| Cirkel | XS-S | 48,0 | 24,0 | 11,5 | 1,0 | 8,0 | 0,9 | 18,8 | 0,8 | 2,2 |

Note : La moulée Cirkel est conçue pour les systèmes en recirculation utilisant un biofiltre.